



Universitat de Lleida



UNIVERSITAT DE LLEIDA

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària
Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl.

Tesis Doctoral

EFFECTOS DEL ACOLCHADO SOBRE DISTINTOS PARÁMETROS DEL SUELO Y DE LA NECTARINA EN RIEGO POR GOTEO

Memoria presentada por:

Wided Zribi

En satisfacción de los requisitos necesarios para optar al grado de Doctor

Directores:

Dr. Ramón Aragüés Lafarga

Dr. José María Faci González

Tutor:

Dr. Josep Maria Villar I Mir

Zaragoza, septiembre de 2013

À todos aquellos que han hecho posible este trabajo
À tous ceux qui ont fait possible ce travail
For all those who made this work possible

AGRADECIMIENTOS

Deseo hacer mención de todas aquellas personas que han colaborado en la realización de esta memoria y han contribuido a mi formación, tanto investigadora como personal. Reciban mi más sincero agradecimiento:

Dr. Ramón Aragüés Lafarga y Dr. José María Faci González directores de esta tesis, por la magnífica orientación y apoyo tanto científico como moral, laboriosa dedicación, profesionalidad, consejos y por estar siempre dispuestos a ayudar en cuanto fuera posible,

Dr. Josep María Villar Mir, tutor de esta tesis en la Universidad de Lleida, por la aceptación de su tutoría, sin cuya colaboración no habría sido posible.

Al Dr. Antonio Martínez-Cob, experto en Agrometeorología por su colaboración y ayuda,

A todos los miembros del grupo de investigación "Riegos, Agronomía y Medioambiente", con especial referencia (1) a Eva Medina por su gran esfuerzo y ayuda tanto en los trabajos de campo como en el laboratorio, (2) al personal de laboratorio de la Unidad de Suelos y Riegos por su ayuda en gran parte de los análisis, (3) a Luis Coello y Rosa Gómez, y (4) a los que más me han ayudado con el duro trabajo de campo en particular Miguel Izquierdo, Jesús Gaudó y Juan Manuel Acín.

A José Luis Espada por sus recomendaciones y enseñanzas en todo lo que sé de la nectarina y a Antonio Rabinad, técnico de la finca AFRUCCAS.

A todos mis amigos: Talel, Ahmed, Taher, Ilyes, Rifka, Ons, Raquel, Clara, Kosana, Rosa...por los bonitos momentos que hemos pasado juntos. A mis amigos de siempre Emna, Haifa, Awatef y Kawther.

Al CITA de Aragón por brindarme la oportunidad de realizar esta tesis y por el apoyo institucional proporcionado, y a la Unidad de Suelos y Riegos del CITA de Aragón (Unidad Asociada EEAD-CSIC) por haberme proporcionado los medios necesarios para la consecución de esta tesis.

Al Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza y al Gobierno de Aragón por la concesión de sendas becas con las que ha sido posible realizar esta tesis.

Al Programa Consolider-Ingenio por la financiación del proyecto RIDECO (Programa Integral de Ahorro y Mejora Productiva del Agua de Riego en la Horticultura Española) dentro de cuyas actividades se ha realizado esta tesis.

A AFRUCCAS (Asociación de Fruticultores de la Comarca de Caspe) por su colaboración y ayuda en el ensayo efectuado en su finca experimental.

Finalmente, a quien más debo agradecer es a mi familia: a mi marido Habib y mi hijo Mohamed Baraa por su comprensión y apoyo moral, a mis hermanos, y sobre todo a mis padres a quienes se lo debo todo.

RESUMEN

El objetivo de esta tesis es analizar el efecto de distintos sistemas de acolchado sobre varios parámetros del suelo (evaporación, temperatura, humedad y salinidad) y de un cultivo de nectarina temprana (producción, diámetro de tronco, productividad, fenología, PAR interceptado, ETC, densidad de longitud de raíces (DLR), potencial hídrico del tallo, precocidad, número y calidad de frutos, eficiencia en el uso del agua y contenido iónico foliar de Na y Cl). La eficiencia de seis sistemas de acolchado de la superficie del suelo en la reducción de la evaporación de un suelo húmedo se determinó en condiciones de laboratorio (ensayo preliminar) y en condiciones de campo sin cultivo. Tomando como referencia la evaporación del suelo desnudo, el porcentaje de reducción de la evaporación en el ensayo de laboratorio fue muy alto con la lámina de plástico negro (80%), moderado con la corteza de pino (47%), bajo con la paja de trigo (27%) y muy bajo con el residuo de poda de viña (13%) y, en particular, con el geotextil (7%). En el ensayo de campo sin cultivo, los acolchados redujeron en promedio la evaporación del suelo en un 67% respecto a la del suelo desnudo cuando la humedad del suelo era relativamente alta, pero la reducción fue de tan solo un 35% para una humedad ligeramente inferior a capacidad de campo. En base a estos resultados, se efectuó un ensayo de tres años de duración (2010 a 2012) en una plantación de nectarina regada por goteo en la finca experimental de AFRUCCAS (Caspé, Zaragoza) donde se determinó el efecto de cuatro sistemas de acolchado (control o suelo desnudo, lámina de plástico negro, geotextil de yute y corteza de pino) sobre los parámetros de suelo y nectarina anteriormente indicados. El plástico y la corteza de pino redujeron la evaporación del suelo y mantuvieron una mayor humedad, mientras que el geotextil en contacto directo con el suelo húmedo tuvo una evaporación más alta debido a su elevada porosidad. El plástico mantuvo una temperatura del suelo mayor que el resto de los tratamientos. La corteza de pino y el plástico fueron más eficientes en el control de la salinidad del suelo debido a la reducción de la evapo-concentración del agua de riego y de sus sales disueltas en el suelo. El riego de la nectarina con los acolchados de plástico y corteza de pino podría reducirse respecto al aplicado en el suelo desnudo. El uso de acolchados en nectarina mejoró ligeramente los parámetros productivos de la nectarina, pero sin diferencias significativas entre tratamientos. Estos parámetros estuvieron poco relacionados con la humedad y la salinidad del suelo. El aumento de la temperatura del suelo bajo plástico favoreció la producción y mejoró la calidad del fruto de la nectarina. La conclusión global de este trabajo es que los acolchados inorgánico (plástico) y orgánico (corteza de pino) son recomendables para el control de la evaporación del agua del suelo, de su humedad y de su salinidad, así como para una cierta mejora de algunos parámetros de nectarina cultivada en esta zona semiárida del Bajo Ebro Aragonés.

RESUM

L'objectiu d'aquesta tesi és analitzar l'efecte de diferents sistemes d'embuatat sobre diversos paràmetres del sòl (evaporació, temperatura, humitat i salinitat) i d'un cultiu de nectarina primerenca (producció, diàmetre de tronc, productivitat, fenologia, PAR interceptat, ETC, densitat de longitud d'arrels (DLR), potencial hídric de la tija, precocitat, nombre i qualitat de fruits, eficiència en l'ús de l'aigua i contingut iònic foliar de Na i Cl). L'eficiència de sis sistemes d'embuatat de la superfície del sòl en la reducció de l'evaporació d'un sòl humit es va determinar en condicions de laboratori (assaig preliminar) i en condicions de camp sense cultiu. Prenent com a referència l'evaporació del sòl nu, el percentatge de reducció de l'evaporació en l'assaig de laboratori va ser molt alt amb la làmina de plàstic negre (80%), moderat amb l'escorça de pi (47%), baix amb la palla de blat (27%) i molt baix amb el residu de poda de vinya (13%) i, en particular, amb el geotèxtil (7%). En l'assaig de camp sense cultiu, els embuatats van reduir en mitjana l'evaporació del sòl en un 67% respecte a la del sòl nu quan la humitat del sòl era relativament alta, però la reducció va ser de tan sols un 35% per a una humitat lleugerament inferior a capacitat de camp. Sobre la base d'aquests resultats, es va efectuar un assaig de tres anys de durada (2010 a 2012) en una plantació de nectarina regada per degoteig en la finca experimental de AFRUCCAS (Caspè, Saragossa) on es va determinar l'efecte de quatre sistemes d'embuatat (control o sòl nu, làmina de plàstic negre, geotèxtil de jute i escorça de pi) sobre els paràmetres de sòl i nectarina anteriorment indicats. El plàstic i l'escorça de pi van reduir l'evaporació del sòl i van mantenir una major humitat, mentre que el geotèxtil en contacte directe amb el sòl humit va tenir una evaporació més elevada a causa de la seva elevada porositat. El plàstic va mantenir una temperatura del sòl major que la resta dels tractaments. L'escorça de pi i el plàstic van ser més eficients en el control de la salinitat del sòl a causa de la reducció de l'evaporació i concentració de l'aigua de reg en el sòl. El reg de la nectarina amb els embuatats de plàstic i escorça de pi podria reduir-se respecte a l'aplicat en el sòl nu. L'ús d'embuatats en nectarina va millorar lleugerament els paràmetres productius de la nectarina, però sense diferències significatives entre tractaments. Aquests paràmetres van estar poc relacionats amb la humitat i la salinitat del sòl. L'augment de la temperatura del sòl sota plàstic va afavorir la producció i va millorar la qualitat del fruit de la nectarina. La conclusió global d'aquest treball és que els embuatats inorgànic (plàstic) i orgànic (escorça de pi) són recomanables per al control de l'evaporació de l'aigua del sòl, de la seva humitat i de la seva salinitat, així com per a una certa millora d'alguns paràmetres de nectarina conreada en aquesta zona semi-àrida del Baix Ebre Aragonès.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to analyze the effect of different soil mulching materials on various soil parameters (evaporation, temperature, humidity and salinity) and on an early nectarine orchard (production, trunk diameter, productivity, phenology, intercepted PAR, ETc, root length density (RLD), stem water potential, earliness, number and quality of fruits, water use efficiency and leaf ionic content of Na and Cl). The efficiency to reduce evaporation of a moist soil in six soil surface mulching treatments was evaluated under laboratory conditions (preliminary test) and under field conditions in a plot without any vegetation. Using the evaporation of the bare soil as a reference, the reduction in evaporation in the laboratory test was very high with black plastic film (80%), moderate with pine bark (47%), low with wheat straw (27%) and very low in the vines pruning residues (13%) and, in particular, with the geotextile (7%). In the soil field experiment without vegetation, mulching reduced average soil evaporation by 67% compared to bare soil when soil moisture was relatively high, but the reduction was only 35% when soil moisture was slightly below field capacity. Based on these results, we conducted an experiment during three years (2010-2012) in a drip irrigated nectarine orchard at the AFRUCCAS Experimental Farm (Caspe, Zaragoza) to determine the effect of four mulching systems (bare soil, black plastic film, geotextile and pine bark) on the soil and nectarine parameters listed above. Plastic and pine bark reduced soil evaporation and maintained a higher humidity, while the geotextile in direct contact with moist soil had a higher evaporation due to its high porosity. Soil under the plastic film maintained a higher temperature than the other mulching treatments. Pine bark and plastic film were more efficient in controlling soil salinity due to the reduction of evapo-concentration of the irrigation water in the soil. Irrigation of nectarine with plastic and pine bark mulching could be reduced compared to bare soil. The use of mulching materials in nectarine improved slightly the productivity parameters of this crop but without significant differences between treatments. These parameters were poorly correlated with soil moisture and salinity. The increase of soil temperature under the plastic film increased production and improved fruit quality of nectarines. The overall conclusion of this thesis is that the inorganic mulching (plastic) and organic mulching (pine bark) are recommended for the control of soil evaporation, its moisture and salinity, as well as to improve some quality and production parameters of nectarines grown in this semiarid region in the lower Ebro river basin.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS -----	i
RESUMEN -----	iii
RESUM -----	v
ABSTRACT -----	vii
ÍNDICE DE CAPÍTULOS Y ANEJOS -----	viii
ÍNDICE DE TABLAS -----	xi
ÍNDICE DE FIGURAS -----	xix

ÍNDICE DE CAPÍTULOS Y ANEJOS

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS GENERALES	3
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
II.1. Acolchado del suelo -----	7
II.1.1. Tipos de acolchado-----	7
II.1.1.1. Acolchado plástico-----	7
II.1.1.2. Acolchado geotextil-----	8
II.1.1.3. Acolchado de residuos orgánicos-----	8
II.1.2. Efectos del acolchado sobre el suelo-----	9
II.1.2.1. Humedad del suelo-----	9
II.1.2.2. Temperatura del suelo-----	10
II.1.2.3. Estructura y fertilidad del suelo-----	11
II.1.2.4. Control de malas hierbas-----	12
II.1.2.5. Salinidad del suelo-----	12
II.1.3. Efectos del acolchado sobre las plantas-----	14
II.1.3.1. Transpiración de las plantas-----	14
II.1.3.2. Precocidad de las plantas-----	15
II.1.3.3. Calidad del fruto-----	16
II.1.4. Síntesis sobre los acolchados del suelo-----	16
II.2. El cultivo de nectarina -----	18
II.2.1. Situación del cultivo de nectarina-----	18
II.2.2. Características morfológicas de la nectarina-----	19
II.2.3. Variedades de nectarina-----	20
II.2.4. Tolerancia de los frutales a la salinidad-----	21
CAPÍTULO III. EFECTOS DEL ACOLCHADO SOBRE LA EVAPORACIÓN DEL SUELO	25
III.1. Ensayo preliminar. Evaporación del suelo con distintos acolchados en condiciones de laboratorio -----	25
III.1.1. Introducción y objetivos-----	25
III.1.2. Material y métodos-----	25
III.1.3. Resultados y discusión-----	26
III.2. Ensayo de campo. Evaporación del suelo con distintos acolchados en condiciones de campo -----	28
III.2.1. Introducción y objetivos-----	28
III.2.2. Material y métodos-----	28
III.2.2.1. Tipo de suelo-----	28
III.2.2.2. Condiciones climáticas-----	28
III.2.2.3. Diseño experimental-----	30
III.2.2.4. Sistema de riego-----	31
III.2.2.5. Estado hídrico del suelo-----	32
III.2.2.6. Análisis estadístico-----	34
III.2.3. Resultados y discusión-----	34

III.2.3.1. Potencial matricial del suelo-----	34
III.2.3.2. Humedad gravimétrica del suelo-----	39
III.2.3.3. Comparación entre las medidas de potencial matricial y humedad gravimétrica del suelo -----	47
III.3. Síntesis de los ensayos de evaporación de suelo con distintos acolchados en condiciones de laboratorio y de campo -----	49
III.4. Conclusiones -----	51
CAPÍTULO IV. EFECTOS DEL ACOLCHADO SOBRE DISTINTOS PARÁMETROS DEL SUELO Y DE LA NECTARINA: ESTUDIO EXPERIMENTAL -----	55
IV.1. Introducción y objetivos -----	55
IV.2. Material y Métodos -----	55
IV.2.1. Características del ensayo. Diseño experimental-----	55
IV.2.1.1. Ubicación del ensayo-----	55
IV.2.1.2. Tratamientos de acolchado del suelo -----	56
IV.2.2. Clima-----	58
IV.2.3. Riego-----	60
IV.2.3.1. Volumen de riego-----	60
IV.2.3.2. Calidad del agua de riego -----	61
IV.2.4. Suelo-----	61
IV.2.4.1. Caracterización-----	61
IV.2.4.2. Evaporación del suelo medida por microlisimetría-----	64
IV.2.4.3. Temperatura del suelo -----	67
IV.2.4.4. Humedad del suelo-----	67
IV.2.4.4.1. Método gravimétrico-----	67
IV.2.4.4.2. Método FDR -----	68
IV.2.4.5. Salinidad del suelo -----	71
IV.2.4.5.1. Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CEe)-----	71
IV.2.4.5.2. Conductividad eléctrica de la solución del suelo (CEss)-----	71
IV.2.5. Nectarina-----	72
IV.2.5.1. Material vegetal -----	72
IV.2.5.2. Fenología -----	73
IV.2.5.3. PAR interceptado y Evapotranspiración -----	73
IV.2.5.4. Densidad de longitud de raíces -----	74
IV.2.5.4.1. Muestreo del suelo-----	75
IV.2.5.4.2. Medida de la densidad de longitud de raíces (DLR) -----	77
IV.2.5.4.3. Mapas de isolíneas de HG, CEe y DLR, y estimas de la CEe media ponderada por la superficie y por la tasa de extracción de agua de la nectarina -----	79
IV.2.5.5. Diámetro de tronco-----	79
IV.2.5.6. Potencial hídrico del tallo -----	80
IV.2.5.7. Frutos: precocidad, crecimiento, número, producción, calidad -----	81
IV.2.5.8. Eficiencia en el uso del agua -----	83
IV.2.5.9. Análisis iónico foliar -----	83
IV.2.6. Análisis estadísticos-----	83
IV.3. Resultados y discusión-----	83
IV.3.1. Clima-----	83
IV.3.1.1. Características climáticas generales de la zona de estudio-----	83
IV.3.1.2. Caracterización climática del periodo experimental -----	86
IV.3.2. Riego-----	88
IV.3.2.1. Volumen de riego-----	88
IV.3.2.2. Calidad del agua de riego -----	90
IV.3.3. Suelo-----	94
IV.3.3.1. Caracterización-----	94
IV.3.3.2. Evaporación del suelo medida por microlisimetría-----	95

IV.3.3.3. Temperatura del suelo -----	102
IV.3.3.4. Humedad del suelo-----	109
IV.3.3.4.1. Método gravimétrico -----	109
IV.3.3.4.2. Método FDR -----	113
IV.3.3.4.3. Efecto de un estrés hídrico moderado sobre la humedad del suelo -----	127
IV.3.3.5. Salinidad -----	130
IV.3.3.5.1. Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CEe)----	131
IV.3.3.5.2. Conductividad eléctrica de la solución del suelo (CEss)-----	145
IV.3.3.5.2.1. Porcentajes de extracción con las sondas de succión -----	146
IV.3.3.5.2.2. Valores medidos de CEss -----	147
IV.3.3.5.2.3. Valores estimados de CEss-----	149
IV.3.3.5.2.4. Comparación entre valores de CEss medidos y estimados--	188
IV.3.3.6. Relaciones salinidad (CEe) – humedad (HG)-----	194
IV.3.4. Nectarina-----	197
IV.3.4.1. Fenología -----	197
IV.3.4.2. PAR interceptado y evapotranspiración -----	198
IV.3.4.3. Densidad de longitud de raíces de la nectarina -----	205
IV.3.4.3.1. Año 2010 -----	205
IV.3.4.3.2. Año 2011 -----	221
IV.3.4.3.3. Conclusiones (años 2010 y 2011) -----	235
IV.3.4.4. Diámetro de tronco-----	238
IV.3.4.5. Potencial hídrico del tallo -----	239
IV.3.4.6. Frutos: precocidad, crecimiento, número, producción, calidad -----	241
IV.3.4.7. Eficiencia de uso de agua de riego -----	251
IV.3.4.8. Análisis iónico foliar -----	252
IV.3.5. Relaciones suelo-agua-planta-----	253
IV.3.5.1. Efecto de la humedad volumétrica en el potencial hídrico del tallo-----	253
IV.3.5.2. Efecto de la humedad gravimétrica del suelo en la producción, productividad, precocidad y calidad de fruto-----	254
IV.3.5.2.1. Efecto de la humedad gravimétrica del suelo sobre la producción y productividad y número de frutos de la nectarina -----	254
IV.3.5.2.2. Efecto de la humedad gravimétrica del suelo sobre la precocidad de la nectarina -----	255
IV.3.5.2.3. Efecto de la humedad gravimétrica del suelo sobre la calidad del fruto de la nectarina -----	256
IV.3.5.3. Efecto de temperatura del suelo en la producción, productividad, precocidad y calidad de fruto -----	258
IV.3.5.3.1. Efecto de temperatura del suelo en la producción, productividad y el número de frutos de la nectarina -----	258
IV.3.5.3.2. Efecto de la temperatura del suelo sobre la precocidad de la nectarina -----	260
IV.3.5.3.3. Efecto de la temperatura del suelo sobre la calidad del fruto de la nectarina -----	261
IV.3.5.4. Efecto de la salinidad edáfica en la producción, productividad, precocidad y calidad de fruto -----	262
IV.3.5.4.1. Efecto de la salinidad edáfica en la producción y productividad ---	263
IV.3.5.4.2. Efecto de la salinidad del suelo sobre la precocidad del fruto-----	266
IV.3.5.4.3. Efecto de la salinidad del suelo sobre la calidad del fruto -----	267
IV.4. Síntesis y conclusiones -----	270
CAPÍTULO V. SÍNTESIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES GENERALES	297
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	305
ANEJOS	306

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II.1. Síntesis cualitativa de los efectos positivos y negativos del acolchado del suelo desde el punto de vista de la humedad, temperatura, estructura y salinidad del suelo.....	17
Tabla II.2. Intensidad de los efectos positivos (bajo: +; medio: ++; elevado: +++) del acolchado plástico, orgánico y geotextil sobre diferentes atributos de suelo [humedad (Hum), temperatura (Tem), salinidad (Sal) y estructura (Est)], control de malas hierbas (CMH), y planta [transpiración (Tra), precocidad (Pre) de la planta y del fruto (Fru)] revisados en este trabajo.	18
Tabla II.3. Características morfológicas, época de cosecha y calidad del fruto de la variedad nectarina Big Top®.	21
Tabla II.4. Concentraciones foliares de Cl ⁻ y Na ⁺ (mmol Kg ⁻¹ de peso seco) según la presencia (+), ausencia (-) o presencia/ausencia (+/-) de daños foliares (Ziska et al. 1991).22	22
Tabla III.1. Evaporación media del suelo desnudo y sujeto a cinco tratamientos de acolchado en los distintos períodos del ensayo. Dentro de cada periodo, los valores con letras diferentes son significativamente diferentes (P < 0.05) entre tratamientos.....	27
Tabla III.2. Fechas de aplicación de los riegos, dosis aplicadas (mm) y fechas de muestreos del suelo en las miniparcels del ensayo de evaporación de los acolchados.	32
Tabla III.3. Valores iniciales y finales del Ψ_m (media \pm desviación estándar) medido en los distintos tratamientos durante el primer riego. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes (P < 0.05).....	36
Tabla III.4. Valores iniciales y finales del Ψ_m (media \pm desviación estándar) medido en los distintos tratamientos durante el segundo riego. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes (P < 0.05).....	37
Tabla III.5. Valores iniciales y finales del Ψ_m (media \pm desviación estándar) medido en los distintos tratamientos durante el tercer riego. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes (P < 0.05).	38
Tabla III.6. Primer ciclo de riego: humedad gravimétrica del suelo (media \pm desviación estándar) a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) en tres fechas de muestreo de cada tratamiento de acolchado. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes (P < 0.05).	40
Tabla III.7. Primer ciclo de riego: altura de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo de cada tratamiento de acolchado en las tres fechas de muestreo. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes (P < 0.05).....	41
Tabla III.8. Primer ciclo de riego: tasa de evaporación media estimada en cada tratamiento a partir de las respectivas pérdidas de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo en los períodos comprendidos entre las tres fechas de muestreo. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes (P < 0.05).	41
Tabla III.9. Segundo ciclo de riego: humedad gravimétrica del suelo (media \pm desviación estándar) medida a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) en tres fechas de muestreo de cada tratamiento de acolchado. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes (P < 0.05).	42
Tabla III.10. Segundo ciclo de riego: altura de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo de cada tratamiento de acolchado en las tres fechas de muestreo. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes (P < 0.05).....	43
Tabla III.11. Segundo ciclo de riego: tasa de evaporación media estimada en cada tratamiento a partir de las respectivas pérdidas de agua almacenada en los primeros 30 cm	

de suelo en los periodos comprendidos entre las tres fechas de muestreo. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).....	43
Tabla III.12. Tercer ciclo de riego: humedad gravimétrica del suelo (media \pm desviación estándar) medida a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) en tres fechas de muestreo de cada tratamiento de acolchado. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).....	44
Tabla III.13. Tercer ciclo de riego: altura de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo de cada tratamiento de acolchado en las tres fechas de muestreo. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).....	45
Tabla III.14. Tercer ciclo de riego: tasa de evaporación media estimada en cada tratamiento a partir de las respectivas pérdidas de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo en los periodos comprendidos entre las tres fechas de muestreo. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).	45
Tabla III.15. Valores medios de la variación de humedad gravimétrica a 0-10 cm de profundidad (ΔHG) y de la variación del potencial matricial a 5 cm de profundidad ($\Delta \Psi_m$) en los periodos entre las distintas fechas de muestreo de suelo de los tres ciclos de riego. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).	48
Tabla III.16. Evaporación media del suelo en los seis tratamientos obtenida en el ensayo de laboratorio en los primeros cinco días de evaporación y variación de la humedad gravimétrica media a 0-10 cm de profundidad en los seis tratamientos obtenida en el primer periodo de los riegos 1, 2 y 3 del ensayo de campo. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$). Se presenta asimismo la humedad gravimétrica (HG) media inicial en el ensayo de laboratorio y en los tres riegos del ensayo de campo.....	50
Tabla IV.1. Distribución de la superficie (ha) de la finca AFRUCCAS-Caspe destinada a los ensayos de la campaña 2009 en las distintas especies leñosas (DGA, 2010).....	56
Tabla IV.2. Coordenadas UTM (Huso 30) y altitud de las estaciones meteorológicas de Caspe Ayuntamiento perteneciente a la red de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y de la estación de Caspe red SIAR perteneciente a la red del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.....	59
Tabla IV.3. Exportaciones de nutrientes por el cultivo de nectarina. UF indica unidades fertilizantes.....	60
Tabla IV.4. Tipo de fertilizantes comerciales aplicados en cada periodo del ensayo de nectarina.....	61
Tabla IV.5. Aportación media de abono comercial en cada quincena de abril a septiembre durante los años 2010, 2011 y 2012 en el ensayo de nectarina (Kg/ha).	61
Tabla IV.6. Informe de la descripción de la calicata del suelo en la parcela de nectarina en la finca AFRUCCAS de Caspe.....	63
Tabla IV.7. Valores medios mensuales y anuales de precipitación (P_{med}), temperatura media de máximas ($T_{m\acute{a}x}$), temperatura media de mínimas ($T_{m\acute{i}n}$) y temperatura media (T_{med}), evapotranspiración de referencia calculada por el método de Penman -Monteith (ET_o), velocidad media del viento a 2 m sobre el suelo (V), y humedad relativa media del aire a 1.5 m sobre el suelo (HR). Los valores de $T_{m\acute{a}x}$, $T_{m\acute{i}n}$ y T_{med} corresponden a los datos disponibles del periodo 1960 a 2009 y los valores de P_{med} , ET_o , V , HR y R_{med} al periodo 2004-2009 de las estaciones Caspe-Ayuntamiento (AEMET) y Caspe-red SIAR (MAGRAMA).	84
Tabla IV.8. Valores medios mensuales y anuales de precipitación (P_{med}), humedad relativa media del aire a 1.5 m sobre el suelo (HR), temperatura media de máximas ($T_{m\acute{a}x}$),	

temperatura media de mínimas (T mín) y temperatura media (T med), velocidad media del viento a 2 m sobre el suelo (V) y evapotranspiración de referencia calculada por el método de Penman -Monteith (ET _o), en la estación Caspe-red SIAR (MAGRAMA) durante el periodo experimental de 2010 a 2012.....	87
Tabla IV.9. Número de muestras de agua (N) y valores máximos, mínimos y medios de la CE, Na, Cl y RAS del agua de riego de la finca AFRUCCAS durante los años 2010 a 2012.	90
Tabla IV.10. Valores medios de CE, aniones y cationes principales del agua de riego de la finca AFRUCCAS en las estaciones de riego de los años 2010 a 2012.....	93
Tabla IV.11. Aptitud de la calidad del agua de riego de la finca AFRUCCAS en riego por goteo (riego de alta frecuencia) en los años 2010 a 2012: valores de salinidad de la parte superior del perfil del suelo (CE _e) estimados por el nomograma FAO y por el programa Watsuit (WAT) para distintas fracciones de lavado (FL). CE _{ar} es la CE del agua de riego estimada por Watsuit.....	93
Tabla IV.12. Valores medios en los 8 puntos de muestreo de suelo de la humedad gravimétrica (HG) en el momento de muestreo, capacidad de campo (CC), punto de marchitez (PM), agua útil (AU), materia orgánica (MO), yeso y valores en el extracto saturado del suelo de la CE (CE _e), Na (Na _e), Cl (Cl _e) y RAS (RAS _e) para las profundidades de suelo de 0-30, 30-60 y 60-90 cm, y para la media del perfil muestreado al inicio del ensayo (mes de marzo).....	94
Tabla IV.13. Resultados analíticos de los horizontes de suelo muestreados en la calicata efectuada en la parcela de nectarina de la finca AFRUCCAS-Caspe.	95
Tabla IV.14. Análisis textural, densidad aparente (DA), y humedad gravimétrica a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PM) del suelo (0-20 cm) en la parcela experimental del ensayo de evaporación del suelo de la finca AFRUCCAS-Caspe.	95
Tabla IV.15. Ensayo 1: valores medios de evaporación diaria (mm día ⁻¹) de los 12 microlisímetros (ML) de cada tratamiento de acolchado durante periodos consecutivos del primer ensayo. Para cada período, valores seguidos de la misma letra no son diferentes significativamente (P<0.05).....	97
Tabla IV.16. Ensayo 2: valores medios de evaporación diaria (mm día ⁻¹) de los 12 microlisímetros (ML) de cada tratamiento de acolchado durante periodos consecutivos del segundo ensayo. Para cada período, valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes (P < 0.05).	98
Tabla IV.17. Valores medios de evaporación diaria (mm día ⁻¹) de cada tratamiento durante periodos consecutivos del segundo ensayo en las posiciones línea de árboles (LA), línea de goteros (LG) y Calle. Para cada posición, valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes (P<0.05).	100
Tabla IV.18. Valores medios mensuales de la temperatura media diaria del suelo a 20 cm de profundidad en los cuatro tratamientos de acolchado (D, desnudo; G, geotextil; C, corteza y P, plástico) y en el aire durante el periodo experimental de la nectarina. Valores seguidos de distinta letra son significativamente diferentes (P<0.05).....	105
Tabla IV.19. Diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas bajo los distintos acolchados del suelo y del control de suelo desnudo en tres días muy fríos y muy cálidos de los años 2010, 2011 y 2012.	107
Tabla IV.20. Porcentaje de humedad gravimétrica media (HG), número de muestras recogidas (N), Desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) de las muestras de suelo durante el periodo experimental de la nectarina de 2010 a 2012 en el perfil de suelo de 0-45 cm y en las posiciones de muestreo gotero, línea de goteros y línea de árboles.....	109

Tabla IV.21. Variabilidad espacio-temporal de la humedad gravimétrica del suelo (HG, 0-45 cm de profundidad): valores medios, número de muestras de suelo (N), Desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) en cada tratamiento de acochado y posición de muestreo de suelo en marzo y septiembre de 2010. Para cada posición de muestreo, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos.....	110
Tabla IV.22. Variabilidad espacio-temporal de la humedad gravimétrica del suelo (HG, 0-45 cm de profundidad): valores medios, número de muestras de suelo (N), Desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) en cada tratamiento de acochado y posición de muestreo de suelo en abril y septiembre de 2011. Para cada posición de muestreo, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos.....	111
Tabla IV.23. Variabilidad espacio-temporal de la humedad gravimétrica del suelo (HG, 0-45 cm de profundidad): valores medios, número de muestras de suelo (N), Desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) en cada tratamiento de acochado y posición de muestreo de suelo en febrero y septiembre 2012. Para cada posición de muestreo, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos.....	112
Tabla IV.24. Humedad gravimétrica del suelo (HG, 0-45 cm de profundidad) media de los muestreo iniciales y finales del suelo y los cuatro tratamientos de acochado de suelo en las posiciones de muestreo gotero, línea de goteros y línea de árboles.	113
Tabla IV.25. Comparación de los valores medios mensuales de la humedad volumétrica del suelo (0 a 30 cm de profundidad) medidos con la sonda Enviroscan en la línea de árboles entre los tratamientos de acolchado durante las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012.	124
Tabla IV.26. Comparación de los valores medios mensuales de la humedad volumétrica (%) del suelo (0 a 30 cm de profundidad) medidos con la sonda Enviroscan junto al gotero entre los tratamientos de acolchado durante las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012. Valores seguidos de distinta letra son significativamente diferentes ($P < 0.05$).	125
Tabla IV.27. Comparación de los valores medios mensuales de la humedad volumétrica del suelo (0 a 10 cm de profundidad) medidos con la sonda Enviroscan junto al gotero entre los tratamientos de acolchado durante las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012. Valores seguidos de distinta letra son significativamente diferentes ($P < 0.05$).	126
Tabla IV.28. Altura (mm) inicial (19/08/2010) y final (26/08/2010) de la cantidad de agua en el perfil de suelo de 0 a 30 cm medida con las sondas Enviroscan en el gotero y en la línea de árboles, y diferencia entre la altura final e inicial para los distintos tratamientos de acolchado de suelo de la nectarina en el periodo de corte de riego (19/08/2010 a 26/08/2010).	129
Tabla IV.29. Altura (mm) inicial (14/07/2011) y final (20/07/2011) de la cantidad de agua en el perfil de suelo de 0 a 30 cm medida con las sondas Enviroscan en el gotero y en la línea de árboles, y diferencia entre la altura final e inicial para los distintos tratamientos de acolchado de suelo de la nectarina en el periodo de corte de riego.	130
Tabla IV.30. Salinidad media del suelo (CEe), desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) del conjunto de muestras de suelo (N = 4 tratamientos de acolchado del suelo x 3 posiciones de muestreo x 4 repeticiones = 48) recogidas al inicio y final de las estaciones de riego de los años 2010 (marzo y septiembre), 2011 (abril y septiembre) y 2012 (febrero y septiembre de 2012).	131
Tabla IV.31a. Año 2010. Variabilidad espacio-temporal de la salinidad del suelo: número de muestras de suelo (N) y valores medios de CEe, desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) en cada tratamiento de acolchado del suelo en marzo y septiembre del año 2010 para las posiciones de muestreo Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros. Para cada posición de muestreo, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos.	133

Tabla IV.32. Precipitación y riego acumulados entre las fechas de muestreo del suelo.	135
Tabla IV.33. Cambios relativos de CEe entre el muestreo final e inicial (100 (CEe final-CEe inicial)/CEe inicial) en cada tratamiento de acolchado y posición de muestreo del suelo en las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012.....	138
Tabla IV.34. Valores medios de CEe medidos en cada fecha de muestreo del suelo y tratamiento de acolchado. Para los cinco períodos entre las seis fechas de muestreo se presentan el número de días acumulados, los valores acumulados de riego (R), precipitación (P) y evapotranspiración (ETc), y los valores de déficit hídrico (DH) y fracción de lavado (FL).	141
Tabla IV.35. Año 2010. Porcentajes de extracción de la solución del suelo sobre el total teórico en cada posición de muestreo, profundidad de suelo y tratamiento de acolchado. El total teórico de extracciones en cada posición, profundidad y acolchado fue de 92 (23 fechas de extracción x 4 bloques).	146
Tabla IV.36. Año 2011. Porcentajes de extracción de la solución del suelo sobre el total teórico en cada posición de muestreo, profundidad de suelo y tratamiento de acolchado. El total teórico de extracciones en cada posición, profundidad y acolchado fue de 96 (24 fechas de extracción x 4 bloques). Los resultados de la Línea de árboles no se presentan por tener un número irrelevante de extracciones.	147
Tabla IV.37. Año 2012. Porcentajes de extracción de la solución del suelo sobre el total teórico en cada posición de muestreo, profundidad de suelo y tratamiento de acolchado. El total teórico de extracciones en cada posición, profundidad y acolchado fue de 48 (12 fechas de extracción x 4 bloques).	147
Tabla IV. 38. Año 2010. Valores medios de CEss medidos en la estación de riego en cada posición de muestreo, profundidad de suelo y tratamiento de acolchado.	148
Tabla IV.39. Año 2011. Valores medios de CEss medidos en la estación de riego en cada posición de muestreo, profundidad de suelo y tratamiento de acolchado.	148
Tabla IV. 40. Año 2012. Valores medios de CEss medidos en la estación de riego en cada posición de muestreo, profundidad de suelo y tratamiento de acolchado.	148
Tabla IV.41. Año 2010. Valores medios estimados de CEss en cada tratamiento de acolchado, posición de muestreo y profundidad de suelo.	185
Tabla IV.42. Año 2011. Valores medios estimados de CEss en cada tratamiento de acolchado, posición de muestreo y profundidad de suelo.	185
Tabla IV.43. Año 2012. Valores medios estimados de CEss en cada tratamiento de acolchado, posición de muestreo y profundidad de suelo.	185
Tabla IV.44. Variaciones porcentuales de las CEss medias quincenales finales relativas a las CEss medias quincenales iniciales en cada tratamiento de acolchado y año, así como en promedio de los tres años (2010 a 2012).....	187
Tabla IV.45. Valores de CEss medios quincenales finales obtenidos en cada tratamiento de acolchado y año. Asimismo, para el promedio de los tres años (2010 a 2012) se presentan las CEss medias quincenales finales, las CEss medias quincenales del período y la variación absoluta entre la CEss media quincenal final e inicial del período.	188
Tabla IV.46. Año 2010. Diferencias entre valores medios de CEss medidos y estimados en cada tratamiento de acolchado, posición de muestreo y profundidad de suelo.....	189
Tabla IV.47. Año 2011. Diferencias entre valores medios de CEss medidos y estimados en cada tratamiento de acolchado, posición de muestreo y profundidad de suelo.....	189
Tabla IV.48. Año 2012. Diferencias entre valores medios de CEss medidos y estimados en cada tratamiento de acolchado, posición de muestreo y profundidad de suelo.....	189

Tabla IV.49. Años 2010 a 2012. Diferencias entre valores medios de CEss medidos y estimados en cada tratamiento de acolchado de cada año y del promedio de los tres años para el conjunto de valores de las posiciones Gotero y Línea de goteros y las dos profundidades de suelo (20 y 40 cm).....	190
Tabla IV.50. Año 2010. Regresiones lineales “CEss estimada = a CEss medida + b”: valores de la ordenada en el origen (b), pendiente (a) y coeficiente de determinación (R ²) para cada tratamiento de acolchado del suelo, posición de muestreo y profundidad de suelo. Niveles de significación de R ² : *** <0.001; ** <0,01; * <0.05; ^{ns} no significativo a P > 0.05. Los valores de a y b seguidos de * son significativamente diferentes a 1 y 0 (P < 0.05) respectivamente.	192
Tabla IV.51. Año 2011. Regresiones lineales “CEss estimada = a CEss medida + b”: valores de la ordenada en el origen (b), pendiente (a) y coeficiente de determinación (R ²) para cada tratamiento de acolchado del suelo, posición de muestreo y profundidad de suelo. Niveles de significación de R ² : *** <0.001; ** <0.01; * <0.05; ^{ns} no significativo a P > 0.05. Los valores de a y b seguidos de * son significativamente diferentes a 1 y 0 (P < 0.05) respectivamente.	193
Tabla IV.52. Año 2012. Regresiones lineales “CEss estimada = a CEss medida + b”: valores de la ordenada en el origen (b), pendiente (a) y coeficiente de determinación (R ²) para cada tratamiento de acolchado del suelo, posición de muestreo y profundidad de suelo. Niveles de significación de R ² : *** <0.001; ** <0.01; * <0.05; ^{ns} no significativo a P > 0.05. Los valores de a y b seguidos de * son significativamente diferentes a 1 y 0 (P < 0.05) respectivamente.	194
Tabla IV.53. Valores mensuales de la evapotranspiración de referencia (ET _o) calculada por el método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) en la estación Caspe-red SIAR (MAGRAMA) en los meses correspondientes a las estaciones de riego (ER) de los años de 2010 a 2012.	201
Tabla IV.54. Valores mensuales de la evapotranspiración (ET _c), transpiración (T) y evaporación (E) de la nectarina en los tratamientos de acolchado del suelo (desnudo, geotextil, corteza de pino y plástico) en las estaciones de riego (ER) de 2010 a 2012. Se presentan asimismo los valores acumulados en la estación de riegos (ER).	203
Tabla IV.55. Valores de la evapotranspiración (ET _c), transpiración (T) y evaporación (E) de la nectarina en los tratamientos de acolchado del suelo (desnudo, geotextil, corteza de pino y plástico) en las estaciones de riego (ER), no riego (ENR) y anual de 2010 a 2012.	204
Tabla IV.56. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Humedad gravimétrica del suelo (HG) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 0-60 cm. N = número de observaciones; CV = coeficiente de variación; HG _{mps} = HG media ponderada por la superficie calculada a partir de los mapas de isolíneas de HG.....	205
Tabla IV.57. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CE _e) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 0-60 cm. N = número de observaciones; CV = coeficiente de variación; CE _e _{mps} = CE _e media ponderada por la superficie calculada a partir de los mapas de isolíneas de CE _e	209
Tabla IV.58. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Salinidad del suelo expresada en base a la CE _e media aritmética (CE _e _{ma}), la mínima CE _e (CE _e _{min}) medida en tres muestras de suelo, y la CE _e media ponderada por la densidad de longitud de raíces (CE _e _{mpr}) para la superficie total muestreada de 3 m ² y para la superficie de 0.25 m ² muestreada junto a los dos goteros. N = número de muestras tomadas en cada profundidad muestreada.	210
Tabla IV.59. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Densidad de longitud de raíces (DLR) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 0-60 cm. N = número de observaciones; CV = coeficiente de variación; DLR _{mps} = DLR media ponderada por la	

superficie calculada a partir de los mapas de isóneas de DLR. Se presenta asimismo en paréntesis el porcentaje de la DLR total medido a cada profundidad.....	211
Tabla IV.60. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Ecuaciones de regresión lineal y coeficiente de determinación (R^2) entre DLR y HG obtenidas con las 65 muestras de suelo analizadas en cada profundidad de suelo. Niveles de significación de R^2 : *** <0.001; ** <0.01; * <0.05; ^{ns} no significativo a $P > 0.05$	214
Tabla IV.61. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Ecuaciones de regresión lineal y coeficiente de determinación (R^2) entre DLR y CEe obtenidas con las 65 muestras de suelo analizadas en cada profundidad de suelo. Niveles de significación de R^2 : *** <0.001; ** <0.01; * <0.05; ^{ns} no significativo a $P > 0.05$	216
Tabla IV.62. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Efecto de HG y CEe sobre DLR a distintas profundidades para (A) todas las muestras de suelo, (B) las muestras de suelo más próximas a los goteros y (C) las estimas en una sección vertical de suelo bajo la línea de goteros: número de puntos (N) y ecuaciones de regresión lineal múltiple de la DLR estandarizada frente a la HG y la CEe estandarizadas. R^2_{aj} = coeficiente de determinación ajustado.....	221
Tabla IV.63. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Humedad gravimétrica del suelo (HG) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 0-60 cm. N = número de observaciones; CV = coeficiente de variación; HG_{mps} = HG media ponderada por la superficie calculada a partir de los mapas de isóneas de HG.....	222
Tabla IV.64. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CEe) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 0-60 cm. N = número de observaciones; CV = coeficiente de variación; CEe_{mps} = CEe media ponderada por la superficie calculada a partir de los mapas de isóneas de CEe.	224
Tabla IV.65. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Salinidad del suelo expresada en base a la CEe media aritmética (CEe_{ma}), la mínima CEe medida en tres muestras de suelo (CEe_{min}), la CEe media ponderada por la superficie (CEe_{mps}), y la CEe media ponderada por la densidad de longitud de raíces (CEe_{mpr}) para la superficie total muestreada de 1 m ² y para la superficie de 0,25 m ² muestreada junto al gotero. N = número de muestras tomadas en cada profundidad muestreada.	225
Tabla IV.66. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Densidad de longitud de raíces (DLR) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 0-60 cm. N = número de observaciones; CV = coeficiente de variación; DLR_{mps} = DLR media ponderada por la superficie calculada a partir de los mapas de isóneas de DLR. Se presenta asimismo en paréntesis el porcentaje de la DLR total medido a cada profundidad.	227
Tabla IV.67. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Ecuaciones de regresión lineal y coeficiente de determinación (R^2) entre DLR y HG obtenidas con las 25 muestras de suelo analizadas en cada profundidad de suelo. Niveles de significación de R^2 : *** <0.001; ** <0.01; * <0.05; ^{ns} no significativo a $P > 0.05$	228
Tabla IV.68. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Ecuaciones de regresión lineal y coeficiente de determinación (R^2) entre DLR y CEe obtenidas con las 25 muestras de suelo analizadas en cada profundidad de suelo. Niveles de significación de R^2 : *** <0.001; ** <0.01; * <0.05; ^{ns} no significativo a $P > 0.05$	230
Tabla IV.69. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Efecto de la humedad gravimétrica (HG) y de la salinidad (CEe) del suelo sobre la densidad de longitud radicular (DLR) a distintas profundidades para (A) todas las muestras de suelo, (B) las muestras de suelo más próximas a los goteros y (C) las estimas en una sección vertical de suelo bajo la línea de goteros: número de puntos (N) y ecuaciones de regresión lineal	

múltiple de la DLR estandarizada frente a la HG y la CEe estandarizadas. R^2_{aj} = coeficiente de determinación ajustado.	235
Tabla IV.70. Valores medios de la temperatura media (T med), humedad relativa media del aire a 1,5 m sobre el suelo (HRmed), velocidad media del viento a 2 m sobre el suelo (Vmed), precipitación (PREC) y evapotranspiración de referencia calculada por el método de Penman -Monteith (ETo), en la estación Caspe-red SIAR (MAGRAMA) durante los periodos desde 20/08 hasta 26/08/2010 y desde 14/07 hasta 20/07/2011.	240
Tabla IV.71. Evolución del volumen medio del fruto de la nectarina en los distintos tratamientos de acolchado para los años 2010 y 2011.	243
Tabla IV.72. Evolución de la tasa de aumento de volumen del fruto de la nectarina ($\text{cm}^3 \text{ día}^{-1}$) en los distintos tratamientos de acolchado durante los años 2010 y 2011.	243
Tabla IV.73. Producción media de fruta por árbol en los distintos tratamientos de acolchado de suelo en las cosechas efectuadas en el ensayo de nectarina en el periodo experimental de 2010 a 2012.	245
Tabla IV.74. Comparación de los valores medios del pH, firmeza et color del fruto, y pH, °Brix y acidez del zumo de los distintos tratamientos de acolchado de la nectarina en los años 2010 a 2012.	250
Tabla IV.75. Porcentaje de cloruro (Cl) y sodio (Na) (base peso seco) en las hojas de nectarina de los distintos tratamientos de acolchado en tres fechas de los años 2010 y 2011. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).	252
Tabla IV.76. Valores medios de CEe medidos al inicio y final de la estación de riego en las posiciones de muestreo G+LG (gotero y línea de gotero) de cada tratamiento de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012.	263
Tabla IV.77. Valores medios de CEe medidos al inicio y final de la estación de riego en las posiciones de muestreo G+LG (gotero y línea de gotero) y yeso cualitativo en las muestras de suelo tomadas en cada árbol control (1 a 16) en los años 2010 a 2012. Se presenta asimismo el tratamiento de acolchado de cada árbol control.	264

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1. Contribución de los principales países productores a la producción de la nectarina en la Unión Europea. Datos medios del periodo 2008-2012 (Fuente Europêch, 2012).	18
Figura II.2. Previsión de producción del melocotón y de la nectarina en España en el año 2012 (Fuente Afrucat, 2012).	19
Figura II.3. Evolución de la producción del melocotón y de la nectarina en España durante el periodo 2003-2010 (Fuente MAGRAMA, 2011).	19
Figura III.1. Fotografía del ensayo preliminar de medida de la evaporación del suelo desnudo y sujeto a cinco acolchados en condiciones de laboratorio.	26
Figura III.2. Evolución temporal de la evaporación media acumulada de un suelo húmedo desnudo y sujeto a cinco tratamientos de acolchado. Los segmentos verticales representan \pm una desviación estándar de la media.	26
Figura III.3a. Evolución diaria de la temperatura media del aire (Temp) y de la precipitación (Prec) medidos en la estación meteorológica de la red SIAR ubicada en Montañana (Zaragoza) durante el ensayo de evaporación en campo.	29
Figura III.4. Esquema experimental del ensayo de evaporación en campo con la situación de los bloques, tratamientos de acolchado, localización de las sondas Watermark [®] , datalogger Microlsis y equipo de riego localizado.	30
Figura III.5. Vista general del ensayo de evaporación en campo. En el pasillo central se observan los tres soportes con placa solar de los datalogger Microlsis.	31
Figura III.6. Esquema de la situación de los 16 goteros en cada una de las miniparcels de 1.2 m x 1.2 m del ensayo de evaporación en campo.	31
Figura III.7. Detalle de instalación de una sonda Watermark [®] en cada una de las miniparcels de 1.2 m x 1.2 m de superficie del ensayo de evaporación en campo.	33
Figura III.8. Esquema de la ubicación de los puntos de muestreo del suelo efectuados en cada miniparcels de 1.2 m x 1.2 m y ciclo de riego. Se señala asimismo la ubicación de la sonda Watermark [®]	34
Figura III.9. Precipitación, dosis de riego aplicada en los tres ciclos de riego y evolución diaria del potencial matricial del suelo (Ψ_m) a 5 cm de profundidad en los seis tratamientos analizados. Cada punto es la media de cuatro repeticiones.	35
Figura III.10. Evolución diaria a lo largo del primer ciclo de riego del Ψ_m en los seis tratamientos analizados. Cada punto es la media de cuatro repeticiones. Los segmentos verticales representan \pm 1 desviación estándar de la media.	36
Figura III.11. Evolución diaria a lo largo del segundo ciclo de riego del Ψ_m en los seis tratamientos analizados. Cada punto es la media de cuatro repeticiones. Los segmentos verticales representan \pm 1 desviación estándar de la media.	37
Figura III.12. Evolución diaria a lo largo del tercer ciclo de riego del Ψ_m en los seis tratamientos analizados. Cada punto es la media de cuatro repeticiones. Los segmentos verticales representan \pm 1 desviación estándar de la media.	38
Figura III.13. (a) regresión lineal entre las tasas de evaporación y la humedad gravimétrica del conjunto de tratamientos para los periodos inicial y final de cada riego. (b) regresión lineal entre las tasas de evaporación y la humedad gravimétrica para los periodos inicial y final de cada riego del suelo desnudo y de los tratamientos de acolchado (Resto).	46

Figura III.14. Regresión lineal entre el potencial matricial del suelo (Ψ_m) a 5 cm de profundidad y la humedad gravimétrica del suelo (HG) a 0-10 cm de profundidad medidos en la misma fecha y hora en cada tratamiento a lo largo de los tres ciclos de riego.	47
Figura IV.1. Ubicación de la Finca AFRUCCAS situada en el término municipal de Caspe, Zaragoza.	56
Figura IV.2. Fotografías de las parcelas elementales de los cuatro tratamientos de acolchado de suelo con geotextil de yute, lámina de plástico negro, corteza de pino y suelo desnudo en la parcela de nectarina.	57
Figura IV.3. Esquema general del ensayo de acolchado del suelo en la parcela experimental de nectarina en la finca AFRUCCAS en Caspe, Zaragoza.	58
Figura IV.4. Foto de la estación meteorológica instalada en el ensayo de acolchado de nectarina.	59
Figura IV.5. Fotos de las muestras de suelo recogidas en la parcela experimental del ensayo de acolchado en nectarina.	62
Figura IV.6. Secuencia de horizontes: Ap-Bw-Bwk-C en la calicata del suelo efectuada en la parcela de nectarina en la finca AFRUCCAS de Caspe.	62
Figura IV.7. Esquema de las posiciones de los seis ML instalados en cada unidad experimental: 1 y 2 en la línea de árboles, 3 y 4 en la línea de goteros, y 5 y 6 en la calle a dos distancias (1.5 y 2.5 m) de la línea de árboles.	64
Figura IV.8. Dimensiones del microlisímetro (ML) y de la carcasa introducida en el suelo en la que se coloca el ML.	65
Figura IV.9. ML instalados en el suelo acolchado con geotextil de yute.	66
Figura IV.10. ML y malla metálica en el suelo acolchado con corteza de pino.	66
Figura IV.11. Balanza portátil para la pesada de los ML en el ensayo de evaporación.	66
Figura IV.12. Esquema de la situación de las sonda de temperatura en cada parcela elemental de los distintos tratamientos en el ensayo de acolchados del suelo en la parcela de nectarina de la finca AFRUCCAS-Caspe.	67
Figura IV.13. Esquema de los muestreos de suelos efectuados en la parcela de nectarina de la finca AFRUCCAS-Caspe en los años 2010, 2011 y 2012.	68
Figura IV.14. Esquema de la sonda Diviner 2000 utilizada en la finca AFRUCCAS-Caspe.	69
Figura IV.15. Fotografías de una sonda Enviroscan (izquierda), tubos de acceso con la sonda instalada (centro) y Data Logger de Sentek para las sondas Enviroscan (derecha) con placa solar.	70
Figura IV.16. Esquema de numeración de los tubos de acceso para la sonda Diviner 2000 y sondas Enviroscan en el ensayo de acolchados del suelo en la parcela de nectarina en la finca AFRUCCAS-Caspe.	70
Figura IV.17. Esquema de la sonda de succión utilizada en la finca AFRUCCAS-Caspe.	71
Figura IV.18. Esquema de la situación de las sondas de succión instaladas en cada árbol control en la finca AFRUCCAS-Caspe.	72
Figura IV.19. Esquema de las medidas del PAR interceptado utilizando un ceptómetro colocado en distintas posiciones en el marco de plantación.	73
Figura IV.20. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Esquema de la retícula de muestreo del suelo para el análisis de la distribución espacial de la humedad gravimétrica (HG), conductividad eléctrica del extracto saturado (CEe) y densidad de longitud de raíces (DLR).	

Los puntos rojos indican la posición de los goteros. Los números indican las coordenadas (X, Y) y las profundidades de los puntos de muestreo del suelo (cm).....	76
Figura IV.21. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Foto de los nodos de muestreo del suelo ubicados en la retícula de 25 x 25 cm.	76
Figura IV.22. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y suelo bajo plástico). Esquema de la retícula de muestreo del suelo para el análisis de la distribución espacial de la humedad gravimétrica (HG), conductividad eléctrica del extracto saturado (CEe) y densidad de longitud de raíces (DLR). El punto rojo indica la posición del gotero. Los números indican las coordenadas (X, Y) y las profundidades de los puntos de muestreo del suelo (cm).	77
Figura IV.23. Etapas de la preparación de las muestras de suelo para la determinación de la densidad de longitud de raíces (DLR): mezcla de la muestra con agua, separación y lavado de raíces, tinción y conteo de las intersecciones de las raíces con la retícula utilizada.	78
Figura IV.24. Marca blanca en el tronco del árbol para la medida del perímetro de tronco...	80
Figura IV.25. Fotografía de la cámara de presión.....	80
Figura IV.26. Hoja de nectarina cubierta para determinar el potencial hídrico del tallo.....	80
Figura IV.27. Medidas en el fruto de nectarina para determinar su volumen.....	81
Figura IV.28. Vista de la parcela de la finca AFRUCCAS-Caspe durante la cosecha de la nectarina.....	82
Figura IV.29. Distribución estacional de la precipitación en la zona de estudio, elaborada a partir de la serie histórica de 1960 a 2003 en la estación de Caspe-Ayuntamiento (AEMET) y de 2004 a 2009 (MAGRAMA) en la estación de Caspe-red SIAR (MAGRAMA).	84
Figura IV.30. Valores medios mensuales de la precipitación (Pmed) de la serie histórica 1960-2009 de las estaciones de Caspe-Ayuntamiento (AEMET) y Caspe-red SIAR (MARM) y evapotranspiración de referencia (ETo) determinada por el método Penman Monteith de la serie 2004-2009 de la estación meteorológica de Caspe red SIAR (MARM).	85
Figura IV.31. Diagrama ombrotérmico de la zona de estudio elaborado a partir de la serie histórica 1960-2003 de la estación meteorológica de Caspe-Ayuntamiento (AEMET) y de la serie 2004-2009 de la estación Caspe-red SIAR (MAGRAMA).	86
Figura IV.32. Valores semanales de las alturas de riego y precipitación en el ensayo de nectarina en los años 2010 a 2012.	89
Figura IV.33. Evolución de la CE, Cl y Na del agua de riego de la finca AFRUCCAS a lo largo de las estaciones de riego 2010, 2011 y 2012 del ensayo de la nectarina.	91
Figura IV.34. Evolución de la composición iónica del agua de riego de la finca AFRUCCAS al inicio, mitad y final de la estación de riego 2010, 2011 y 2012 de la nectarina.	92
Figura IV.35. Ensayo 1: evolución en cada tratamiento de acolchado (D, desnudo; C, corteza de pino y G geotextil de yute) de la evaporación acumulada media del suelo en los cuatro microlisímetros (ML 1 a 4) sombreados. Los segmentos verticales representan \pm una desviación estándar de la media (N = 12 ML).....	96
Figura IV.36. Ensayo 2: evolución en cada tratamiento de acolchado (D, desnudo; C, corteza de pino y G geotextil de yute) de la evaporación acumulada del suelo en los cuatro microlisímetros (ML 1 a 4) sombreados. Los segmentos verticales representan \pm una desviación estándar de la media (N = 12 ML).....	98
Figura IV.37. Regresiones lineales entre la evaporación diaria y la humedad gravimétrica del suelo en las posiciones línea de árboles (LA), línea de goteros (LG) y Calle de los tratamientos geotextil de yute, corteza de pino y suelo desnudo.....	101

Figura IV.38. Evolución de los valores diarios de la temperatura media del aire (°C) y del suelo a 20 cm de profundidad y a 20 cm del gotero en los diferentes tratamientos de acolchado del suelo durante los años 2010 a 2012.....	102
Figura IV.39. Evolución de los valores medios mensuales de la temperatura media diaria del suelo a 20 cm de profundidad en los cuatro tratamientos de acolchado y en el aire durante el periodo experimental del ensayo de nectarina.....	104
Figura IV.40. Evolución diaria de las diferencias de temperatura del suelo entre los acolchados y el control de suelo desnudo durante el periodo experimental del ensayo de la nectarina.....	106
Figura IV.41. Evolución de los valores semihorarios de la temperatura del aire y la del suelo bajo los cuatro sistemas de acolchado en los días más fríos y más cálidos de los años 2010, 2011 y 2012.....	108
Figura IV.42. Evolución semanal de de las alturas de agua acumuladas en el perfil de suelo de 0 a 30 cm de profundidad (Humedad, mm) determinadas a partir de las medidas de la humedad volumétrica con la sonda Diviner 2000 en la línea de árboles (A) y en el gotero (B) en los tratamientos de acolchado del suelo durante la estación de riego de 2010. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar.	114
Figura IV.43. Evolución semanal de de las alturas de agua acumuladas en el perfil de suelo de 0 a 30 cm de profundidad (Humedad, mm) determinadas a partir de las medidas de la humedad volumétrica con la sonda Diviner 2000 en la línea de árboles (A), en el gotero (B) y en la línea de goteros (C) en los tratamientos de acolchado del suelo durante la estación de riego de 2011. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar.	115
Figura IV.44. Evolución de de las alturas de agua acumuladas en el perfil de suelo de 0 a 30 cm de profundidad (Humedad, mm) determinadas a partir de las medidas de la humedad volumétrica con la sonda Diviner 2000 en la línea de árboles (A), en el gotero (B) y en la línea de goteros (C) en los tratamientos de acolchado del suelo durante la estación de riego de 2012. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar.	116
Figura IV.45. Perfiles de humedad volumétrica media del suelo de las posiciones gotero y línea de árboles para 2010 y gotero, línea de goteros y línea de árboles para 2011 y 2012 medida con la sonda Diviner 2000 al inicio y mitad de cada estación de riego.	118
Figura IV.46. Evolución de las lecturas diarias de la humedad volumétrica del suelo a 10, 30 y 50 cm de profundidad medida con sondas Enviroscan en la posición línea de árboles y en el gotero en el tratamiento control de suelo desnudo durante los años 2010, 2011 y 2012. Las barras verticales indican las cantidades aplicadas en el riego (R) y la precipitación (P).	120
Figura IV.47. Evolución de las lecturas diarias de la humedad volumétrica del suelo a 10, 30 y 50 cm de profundidad medida con sondas Enviroscan en la posición línea de árboles y en el gotero en el tratamiento geotextil durante los años 2010, 2011 y 2012. Las barras verticales indican las cantidades aplicadas en el riego (R) y la precipitación (P).	121
Figura IV.48. Evolución de las lecturas diarias de la humedad volumétrica del suelo a 10, 30 y 50 cm de profundidad medida con sondas Enviroscan en la posición línea de árboles y en el gotero en el tratamiento corteza de pino durante los años 2010, 2011 y 2012. Las barras verticales indican las cantidades aplicadas en el riego (R) y la precipitación (P).	122
Figura IV.49. Evolución de las lecturas diarias de la humedad volumétrica del suelo a 10, 30 y 50 cm de profundidad medida con sondas Enviroscan en la posición línea de árboles y en el gotero en el tratamiento plástico durante los años 2010, 2011 y 2012. Las barras verticales indican las cantidades aplicadas en el riego (R) y la precipitación (P).	123

Figura IV.50. Evolución de las lecturas medias diarias de la humedad volumétrica del suelo medida con la sonda Enviroscan en la línea de árbol y junto al gotero de los distintos tratamientos de acolchado durante el corte de riego del 31/7/2010 al 2/8/2010.....	128
Figura IV.51. Salinidad del suelo (CEe, 0-45 cm de profundidad) medida en cada fecha de muestreo y tratamiento de acolchado, y déficit hídrico (DH) calculado entre las fechas de muestreo del suelo de cada tratamiento de acolchado.....	142
Figura IV.52. Regresiones lineales con 20 y 17 observaciones (N) entre el déficit hídrico (DH) y la variación porcentual diaria de la CEe entre las fechas de muestreo de cada tratamiento de acolchado (Δ CEe).....	143
Figura IV.53. Salinidad del suelo (CEe, 0-45 cm de profundidad) en los cuatro tratamientos de acolchado medida en las fechas de muestreo del suelo de los años 2010, 2011 y 2012 y fracción de lavado (FL) calculada entre las fechas de muestreo del suelo.....	145
Figura IV.54. Regresiones lineales con 20 y 17 observaciones (N) entre la fracción de lavado (FL) y la variación porcentual diaria de la CEe entre las fechas de muestreo de cada tratamiento de acolchado (Δ CEe).....	145
Figura IV.55. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento de suelo desnudo para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEss).....	153
Figura IV.56. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento de acolchado geotextil para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEss).....	154
Figura IV.57. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento de acolchado corteza de pino para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEss).....	155
Figura IV.58. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento de acolchado corteza de pino para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEss).....	156
Figura IV.59. Año 2011. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento de suelo desnudo para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEss.	157
Figura IV.60. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento de acolchado geotextil para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEss.....	158

Figura IV.61. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento de acolchado corteza de pino para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEss.	159
Figura IV.62. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento de acolchado plástico para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEss. En la posición línea de goteros se dejó de extraer solución a partir de los días 190 (a 20 cm) y 170 (a 40 cm).	160
Figura IV.63. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento de suelo desnudo para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.	161
Figura IV.64. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento geotextil para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.	162
Figura IV.65. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento corteza de pino para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.	163
Figura IV.66. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento plástico para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.	164
Figura IV.67. Año 2010. Tratamientos de acolchado del suelo: Evolución de la CEss estimada en cada posición de muestreo (LA = línea de árboles, LG = línea de goteros, G = gotero) y profundidad de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego.....	165
Figura IV.68. Año 2011. Tratamientos de acolchado del suelo: Evolución de la CEss estimada en cada posición de muestreo (LG = línea de goteros, G = gotero) y profundidad de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego.....	166
Figura IV.69. Año 2012. Tratamientos de acolchado del suelo: Evolución de la CEss estimada en cada posición de muestreo (LA = línea de árboles, LG = línea de goteros, G = gotero) y profundidad de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego.....	166
Figura IV.70. Año 2010. Posiciones de muestreo (LA = línea de árboles, LG = línea de goteros, G = gotero): Evolución de la CEss estimada en cada tratamiento de acolchado a 20 y 40 cm de profundidad de suelo a lo largo de la estación de riego.	167
Figura IV.71. Año 2011. Posiciones de muestreo (LG = línea de goteros, G = gotero): Evolución de la CEss estimada en cada tratamiento de acolchado a 20 y 40 cm de profundidad de suelo a lo largo de la estación de riego.....	168
Figura IV.72. Año 2012. Posiciones de muestreo (LG = línea de goteros, G = gotero): Evolución de la CEss estimada en cada tratamiento de acolchado a 20 y 40 cm de profundidad de suelo a lo largo de la estación de riego.....	169
Figura IV.73. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento suelo desnudo para las distintas posiciones de muestreo a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos	

acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEss).	171
Figura IV.74. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento geotextil para las distintas posiciones de muestreo a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEss).	171
Figura IV.75. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento corteza de pino para las distintas posiciones de muestreo a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEss).	172
Figura IV.76. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento plástico para las distintas posiciones de muestreo a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEss).	172
Figura IV.77. Año 2011. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento geotextil para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEss.	173
Figura IV.78. Año 2011. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento geotextil para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEss.	173
Figura IV.79. Año 2011. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento corteza de pino para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEss.	174
Figura IV.80. Año 2011. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento plástico para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEss.	174
Figura IV.81. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento de suelo desnudo para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.	175
Figura IV.82. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento geotextil para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.	175
Figura IV.83. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento corteza de pino para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.	176

Figura IV.84. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento plástico para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.	176
Figura IV.85. Año 2010. Tratamientos de acolchado del suelo: Evolución de la CEss estimada en cada posición de muestreo (LA = línea de árboles, LG = línea de goteros, G = gotero) a lo largo de la estación de riego para el conjunto de observaciones a 20 y 40 cm de profundidad de suelo.	177
Figura IV.86. Año 2011. Tratamientos de acolchado del suelo: Evolución de la CEss estimada en cada posición de muestreo (LG = línea de goteros, G = gotero) a lo largo de la estación de riego para el conjunto de observaciones a 20 y 40 cm de profundidad de suelo.	177
Figura IV.87. Año 2012. Tratamientos de acolchado del suelo: Evolución de la CEss estimada en cada posición de muestreo (LA = línea de árboles, LG = línea de goteros, G = gotero) a lo largo de la estación de riego para el conjunto de observaciones a 20 y 40 cm de profundidad de suelo.	178
Figura IV.88. Año 2010. Posiciones de muestreo (LA = línea de árboles, LG = línea de goteros, G = gotero): Evolución de la CEss estimada en cada tratamiento de acolchado a lo largo de la estación de riego para el conjunto de observaciones a 20 y 40 cm de profundidad de suelo.	179
Figura IV.89. Año 2011. Posiciones de muestreo (LG = línea de goteros, G = gotero): Evolución de la CEss estimada en cada tratamiento de acolchado a lo largo de la estación de riego para el conjunto de observaciones a 20 y 40 cm de profundidad de suelo.	179
Figura IV.90. Año 2012. Posiciones de muestreo (LA = línea de árboles, LG = línea de goteros, G = gotero): Evolución de la CEss estimada en cada tratamiento de acolchado a lo largo de la estación de riego para el conjunto de observaciones a 20 y 40 cm de profundidad de suelo.	180
Figura IV.91. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de todos los valores de CEss medidos en las posiciones gotero (G) y línea de gotero (LG) a 20 y 40 cm de profundidad de suelo para cada tratamiento de acolchado del suelo a lo largo de la estación de riego 2010 frente a los días julianos acumulados.	181
Figura IV.92. Año 2011. Curvas polinomiales de ajuste de todos los valores de CEss medidos en las posiciones gotero (G) y línea de gotero (LG) a 20 y 40 cm de profundidad de suelo para cada tratamiento de acolchado del suelo a lo largo de la estación de riego 2011 frente a los días julianos acumulados.	181
Figura IV.93. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de todos los valores de CEss medidos en las posiciones gotero (G) y línea de gotero (LG) a 20 y 40 cm de profundidad de suelo para cada tratamiento de acolchado del suelo a lo largo de la estación de riego 2012 frente a los días julianos acumulados.	182
Figura IV.94. Años 2010, 2011 y 2012. (A) Evolución de la CEss estimada en cada tratamiento de acolchado y valores quincenales de riego (R) y precipitación (P) a lo largo de las estaciones de riego 2010-2012; (B) Evolución de la CEss estimada para períodos de 20 días en cada tratamiento de acolchado a lo largo de las estaciones de riego 2010-2012. En ambos casos, las estimas de CEss se han obtenido para el conjunto de observaciones en las posiciones de muestreo LG (línea de goteros) y G (gotero) y las profundidades de suelo de 20 y 40 cm.	183
Figura IV.95. Evolución de la CEss media quincenal en los años 2010, 2011 y 2012 para los distintos tratamientos de acolchado del suelo. En ambos casos, las estimas de CEss se han obtenido para el conjunto de observaciones en las posiciones de muestreo LG (línea de goteros) y G (gotero) y las profundidades de suelo de 20 y 40 cm.	186

Figura IV.96. Regresión lineal entre la salinidad (CEe) y humedad gravimétrica (HG) del suelo para el total de muestras tomadas en los años 2010 a 2012 en el ensayo de nectarina en Caspe.....	195
Figura IV.97. Regresión lineal entre la salinidad (CEe) y la humedad gravimétrica (HG) del suelo para las muestras tomadas en cada año 2010 a 2012 en el ensayo de nectarina en Caspe.....	195
Figura IV.98. Regresión lineal entre la salinidad (CEe) y la humedad gravimétrica (HG) del suelo para el conjunto de muestras tomadas en los años 2010 a 2012 en cada tratamiento de acolchado (Desnudo, Geotextil, Orgánico, Plástico) en el ensayo de nectarina en Caspe.....	196
Figura IV.99. Regresión lineal entre la salinidad (CEe) y la humedad gravimétrica (HG) del suelo para el conjunto de muestras tomadas en los años 2010 a 2012 en cada posición de muestreo (Gotero, Línea goteros, Línea árboles) en el ensayo de nectarina en Caspe.....	196
Figura IV.100. Fotografías de los principales estados fenológicos de la nectarina tomados en la parcela experimental de la finca AFRUCCAS. D: corola visible, F: flor abierta, G: caída de pétalos, H: fruto recién cuajado, I: fruto joven, J: evolución de la maduración.	197
Figura IV.101. Evolución de los estados fenológicos de la nectarina durante los años 2010, 2011 y 2012. Las barras horizontales indican el inicio y final de cada fase fenológica.	198
Figura IV.102. Evolución del porcentaje de suelo sombreado de la nectarina en los distintos tratamientos de acolchado (a y b) y del porcentaje de suelo sombreado medio (c y d) a lo largo de las campañas de los años 2010 y 2011.....	199
Figura IV.103. Evolución diaria del PAR interceptado medio en tanto por uno estimado en base a las ecuaciones de ajuste del suelo sombreado medido en la nectarina para los años 2010 y 2011.....	200
Figura IV.104. Evolución diaria del coeficiente del cultivo (Kc) de la nectarina durante las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012 determinadas con la metodología propuesta por Ayars et al. (2003) utilizada en el presente trabajo y la curva media de Kc de la FAO para frutales caducifolios (FAO, 1998).....	200
Figura IV.105. Evolución diaria de la evapotranspiración de referencia (ETo) calculada por el método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) en la estación Caspe-red SIAR (MAGRAMA) durante las campañas de riego de la nectarina en los años de 2010 a 2012.....	201
Figura IV.106. Evolución diaria de la ETc de la nectarina sobre suelo desnudo en los años de 2010 a 2012.....	202
Figura IV.107. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Mapa de isolíneas de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm. Los ejes están expresados en cm, el árbol (en verde) está situado en la coordenada (X, Y) = (0, 0) y los goteros (en rojo) en las coordenadas (-50, -50) y (-50, 50).....	207
Figura IV.108. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Mapa de isolíneas de la conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CEe) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm. Los ejes están expresados en cm, el árbol (en verde) está situado en la coordenada (X, Y) = (0, 0) y los goteros (en rojo) en las coordenadas (-50, -50) y (-50, 50).....	212
Figura IV.109. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Mapa de isolíneas de la densidad de longitud de raíces (DLR) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm. Los ejes están expresados en cm, el árbol (en verde) está situado en la coordenada (X, Y) = (0, 0) y los goteros (en rojo) en las coordenadas (-50, -50) y (-50, 50).....	213

Figura IV.110. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Relación y regresión logarítmica entre la densidad de la longitud de raíces (DLR) y la profundidad del suelo. Cada punto es la media de 65 medidas.....	214
Figura IV.111. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Combinación tridimensional de los mapas de isóneas de HG, CEe y DLR.....	215
Figura IV.112. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Isóneas de HG, CEe y DLR para la profundidad de suelo de 0-80 cm obtenidas en un corte este-oeste bajo la línea norte de goteros. El punto rojo es la posición del gotero.	216
Figura IV.113. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Relaciones en cinco profundidades del suelo (0, 5, 10, 15 y 20 cm) entre DLR y HG estimadas de las isóneas de la Figura IV.112 en los nodos de una cuadrícula de 5 x 5 cm. Se presenta asimismo la ecuación de regresión lineal para el conjunto de puntos.....	217
Figura IV.114. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Relaciones en cinco profundidades del suelo (0, 5, 10, 15 y 20 cm) entre DLR y CEe estimadas de las isóneas de la Figura IV.112 en los nodos de una cuadrícula de 5 x 5 cm. Se presenta asimismo la ecuación de regresión lineal para el conjunto de puntos.....	218
Figura IV.115. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Relaciones y regresión lineal entre (a) CEe y HG estimadas en una sección de suelo de 0-20 cm de profundidad localizada bajo la línea de goteros, (b) CEe y HG medidas en las muestras de suelo próximas a los goteros (72 muestras), y (c) CEe y HG medidas en todas las muestras de suelo (260 muestras). .	219
Figura IV.116. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Mapa de isóneas de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida a las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Los ejes están expresados en cm, el árbol (en verde) está situado en la coordenada (X, Y) = (0, 0) y el gotero (en rojo) en la coordenadas (-50, 50).	222
Figura IV.117. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Mapa de isóneas de la conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CEe) medida a las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Los ejes están expresados en cm, el árbol (en verde) está situado en la coordenada (X, Y) = (0, 0) y el gotero (en rojo) en la coordenadas (-50, 50).	224
Figura IV.118. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Mapa de isóneas de la densidad de longitud de raíces (DLR) medida a las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Los ejes están expresados en cm, el árbol (en verde) está situado en la coordenada (X, Y) = (0, 0) y el gotero (en rojo) en la coordenadas (-50, 50).	227
Figura IV.119. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Combinación tridimensional de los mapas de isóneas de HG, CEe y DLR.	229
Figura IV.120. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Relación y regresión lineal entre DLR y HG para el conjunto de muestras de suelo.	230
Figura IV.121. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Isóneas de HG, CEe y DLR para la profundidad de suelo de 0-60 cm obtenidas bajo la línea de goteros. El punto rojo es la posición del gotero.	231
Figura IV.122. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Relaciones a cada profundidad entre DLR y HG estimadas de las isóneas de la Figura IV.122 en los nodos de una cuadrícula de 5 x 5 cm. Se presenta asimismo la ecuación de regresión lineal para el conjunto de puntos.....	232
Figura IV.123. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Relaciones a cada profundidad entre DLR y CEe estimadas de las isóneas de la Figura IV.121 en los nodos de una cuadrícula de 5 x 5 cm. Se presenta asimismo la ecuación de regresión lineal para el conjunto de puntos del suelo desnudo.....	232

Figura IV.124. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Relaciones y regresión lineal entre (a) la CEe y la HG estimadas en una sección de suelo de 0-20 cm de profundidad localizada bajo la línea de goteros (Figura IV.19), (b) la CEe y la HG medidas en las muestras de suelo próximas a los goteros (27 muestras), y (c) la CEe y la HG medidas en todas las muestras de suelo (75 muestras).	234
Figura IV.125. Incremento de la sección transversal del tronco para los años 2010, 2011, 2012 y 2010-2012 en cada tratamiento de acolchado del suelo. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).	239
Figura IV.126. Evolución del potencial hídrico de tallo medido a mediodía en los diferentes sistemas de acolchado de suelo durante los años 2010 y 2011 del ensayo de nectarina...240	
Figura IV.127. Porcentaje de frutos recolectados en la primera pasada de recolección respecto a la producción total en los diferentes sistemas de acolchado de suelo durante el periodo experimental del ensayo de nectarina. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).	241
Figura IV.128. Evolución del volumen medio del fruto de la nectarina en los distintos tratamientos de acolchado durante los años 2010 y 2011 del ensayo de nectarina. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar.	242
Figura IV.129. Número medio de frutos por árbol en cada tratamiento de acolchado en nectarina durante el periodo experimental de 2010 a 2012. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).	244
Figura IV.130. Peso de la producción de frutos de nectarina en cada tratamiento de acolchado de suelo en los años de 2010 a 2012. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).	246
Figura IV.131. Productividad (Kg de fruta por cm^2 de sección de tronco en 2010) de cada tratamiento de acolchado de suelo de la nectarina durante el periodo experimental de 2010 a 2012. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).	247
Figura IV.132. Volumen medio del fruto de los distintos tratamientos de acolchado de nectarina en el cosechado final del periodo experimental de 2010 a 2012. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).	248
Figura IV.133. Peso medio del fruto de los distintos tratamientos de acolchado de nectarina en el cosechado final del periodo experimental de 2010 a 2012. Las líneas verticales encima de las barras indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).	248
Figura IV.134. Regresión lineal entre el peso medio y el volumen medio de los frutos de la nectarina para el conjunto de tratamientos de acolchado del suelo durante el periodo experimental de 2010 a 2012.	249
Figura IV.135. Eficiencia de uso del agua de riego (EUAR) de los diferentes sistemas de acolchado de suelo en el periodo experimental del ensayo de nectarina. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).	252
Figura IV.136. Relación entre el potencial hídrico del tallo a mediodía solar (Ψ_{tallo}) y el contenido medio de agua en el suelo medido el mismo día con la sonda Enviroscan en la	

posición gotero en el perfil de suelo de 0 a 30 cm. Cada punto corresponde a la media de tres a cinco repeticiones.....	253
Figura IV.137. Relación entre la humedad gravimétrica (HG) media en el gotero (G) y en la línea de goteros (LG) para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de los muestreos efectuados en marzo y septiembre de 2010 y la productividad y la producción de la nectarina. Cada punto corresponde a una repetición.....	255
Figura IV.138. Relación entre el número de frutos por árbol y el valor medio de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida junto al gotero (G) y en la línea de goteros (LG) para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de los muestreos efectuados en marzo y septiembre en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.....	255
Figura IV.139. Relación entre la precocidad de la nectarina (% de precocidad) y el valor medio de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida junto al gotero (G) y en la línea de goteros (LG) para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de los muestreos efectuados en marzo y septiembre en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición. Las observaciones dentro de la elipse punteada corresponden al año 2012.....	256
Figura IV.140. Relación entre el peso medio del fruto de la nectarina y el valor medio de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida junto al gotero (G) y en la línea de goteros (LG) para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de los muestreos efectuados en marzo y septiembre en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.	257
Figura IV.141. Relación entre la firmeza del fruto de nectarina y el valor medio de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida junto al gotero (G) y en la línea de goteros (LG) para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de los muestreos efectuados en marzo y septiembre en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.	257
Figura IV.142. Relación entre el contenido de azúcar del zumo (°Brix) de la nectarina y el valor medio de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida junto al gotero (G) y en la línea de goteros (LG) para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de los muestreos efectuados en marzo y septiembre en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.	258
Figura IV.143. Relación entre la acidez del zumo de la nectarina y el valor medio de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida junto al gotero (G) y en la línea de goteros (LG) para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de los muestreos efectuados en marzo y septiembre en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.	258
Figura IV.144. Relación entre la producción y la productividad de la nectarina y el valor medio de la temperatura diaria del suelo a 20 cm de profundidad en los meses de marzo a junio del año actual y meses de julio a octubre del año anterior en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2011 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.	260
Figura IV.145. Relación entre el número de frutos por árbol y el valor medio de la temperatura diaria del suelo a 20 cm de profundidad en los meses de marzo a junio del año actual y meses de julio a octubre del año anterior en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.	260
Figura IV.146. Relación entre la precocidad de la nectarina (% de precocidad) determinada como el porcentaje del peso de fruta recogida en la primera pasada respecto a la producción total y el valor medio de la temperatura diaria del suelo a 20 cm de profundidad en los meses de marzo a junio del año actual y meses de julio a octubre del año anterior en los	

distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.....	261
Figura IV.147. Relación entre el contenido de azúcar del zumo (°Brix) de la nectarina y el valor medio de la temperatura diaria del suelo a 20 cm de profundidad en los meses de marzo a junio del año actual y meses de julio a octubre del año anterior en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.....	262
Figura IV.148. Relación entre la acidez del zumo de la nectarina y el valor medio de la temperatura diaria del suelo a 20 cm de profundidad en los meses de marzo a junio del año actual y meses de julio a octubre del año anterior en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.	262
Figura IV.149. Relaciones de la (a) producción, (b) producción relativa, (c) productividad y (d) productividad relativa de la nectarina con la CEe medidos en los 16 árboles control durante los años 2010 a 2012. Las líneas sólida y discontinua indican la función de respuesta del melocotonero a la salinidad establecida por FAO en suelos sin y con yeso respectivamente.....	264
Figura IV. 150. Relación de la (a) producción, (b) producción relativa, (c) productividad y (d) productividad relativa de la nectarina con la CEe medida en los 16 árboles control durante los años 2010 y 2011. La línea sólida indica la función de respuesta del melocotonero a la salinidad establecida por FAO en suelos sin yeso.....	265
Figura IV.151. Relación entre la precocidad absoluta y relativa del fruto de los 16 árboles control de nectarina y la CEe media (G y LG, 0 a 45 cm de suelo) de los muestreos efectuados en marzo y septiembre de los años 2010 y 2011 (sin datos en 2012).	267
Figura IV.152. Relación entre el contenido absoluto y relativo de azúcar del zumo (°Brix) de los 16 árboles control de nectarina y la CEe media (G y LG, 0 a 45 cm de suelo) de los muestreos efectuados en marzo y septiembre de los años 2010 a 2012.	268
Figura IV.153. Relación entre la acidez absoluta y relativa de los 16 árboles control de nectarina y la CEe media (G y LG, 0 a 45 cm de suelo) de los muestreos efectuados en marzo y septiembre de los años 2010 a 2012.	268
Figura IV.154. Relación entre la firmeza absoluta y relativa de los 16 árboles control de nectarina y la CEe media (G y LG, 0 a 45 cm de suelo) de los muestreos efectuados en marzo y septiembre de los años 2010 a 2012.	269
Figura IV.155. Relación entre el peso medio absoluto y relativo del fruto de los 16 árboles control de nectarina y la CEe media (G y LG, 0 a 45 cm de suelo) de los muestreos efectuados en marzo y septiembre de los años 2010 a 2012.....	269

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS GENERALES

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS GENERALES

La agricultura de regadío del siglo XXI se enfrenta a importantes retos científicos y tecnológicos derivados, entre otros, de la creciente escasez en cantidad y calidad de los recursos agua y suelo. Esta situación obliga a optimizar el manejo del agua y del suelo mediante aquellas técnicas de cultivo capaces de conservar estos recursos y de incrementar la rentabilidad económica del regadío, progresivamente comprometida por los incrementos crecientes en los costes de producción.

En particular, el sector frutícola español y el localizado en la Cuenca Media del Ebro sufren estos problemas que exigen la implementación de técnicas y prácticas culturales capaces de asegurar su sostenibilidad y rentabilidad mediante la reducción de costes y el incremento en la producción y calidad de la fruta. Las prácticas de cultivo en la fruticultura de regadío pueden agruparse en (1) prácticas de manejo del riego como el riego deficitario controlado que es utilizado actualmente en numerosas plantaciones frutales con el objetivo de incrementar la productividad del agua, reducir crecimientos vegetativos indeseados y mejorar la calidad de la fruta, (2) prácticas culturales de distinto tipo como podas de formación, tratamientos de cobertura del suelo, etc. y (3) selección de cultivares de alto valor comercial y adecuados a las condiciones de cultivo.

Entre las prácticas culturales, los acolchados del suelo han adquirido una importancia creciente en zonas semiáridas como la Cuenca Media del Ebro. Esta práctica consiste en colocar una cubierta sobre la superficie del suelo con el objetivo fundamental de establecer unas relaciones suelo-agua-planta-atmósfera favorables para el crecimiento óptimo del cultivo.

El acolchado con materiales plásticos ha sido el más utilizado con el propósito de minimizar la proliferación de malas hierbas, acelerar la maduración en ciertas especies, reducir la evaporación directa del agua del suelo e incrementar la eficiencia del uso del agua. Sin embargo, el plástico impide o limita la entrada del agua de lluvia en la zona de raíces de los cultivos, lo que puede ser un factor negativo relevante en regadíos con problemas de cantidad y calidad de agua.

Por el contrario, los acolchados con materiales porosos como los residuos orgánicos o los materiales geotextiles permiten la infiltración del agua de lluvia en la zona de raíces de los cultivos, pero aumentan la evaporación directa en relación a los acolchados plásticos.

El beneficio relativo de los distintos materiales de acolchado depende del balance entre la entrada de agua de lluvia y la salida de agua por evaporación. En regadíos de zonas semiáridas con aplicación de aguas de baja calidad, la entrada de agua de lluvia favorece el lavado de las sales acumuladas por evapotranspiración en la zona de raíces, mientras que la eliminación o reducción de la evaporación reduce la evapo-concentración del agua de riego y de sus sales disueltas en el suelo. Cabe concluir por lo tanto que el beneficio relativo de los acolchados inorgánicos y orgánicos sobre la conservación del agua del suelo en cantidad y calidad es ambiente-dependiente, por lo que no pueden establecerse conclusiones generales sin tener en cuenta las características climáticas y edafológicas particulares de cada zona de estudio.

Esa tesis se ha diseñado en base a tres capítulos, además de este capítulo I y de los capítulos V (síntesis de resultados y conclusiones generales) y VI (Referencias bibliográficas).

El capítulo II comprende una extensa revisión bibliográfica acerca de los distintos materiales de acolchado del suelo (inorgánicos y orgánicos) y sus efectos sobre el suelo (humedad, temperatura, estructura, fertilidad, control de malas hierbas y salinidad) y las plantas (transpiración, precocidad y calidad del fruto), así como una revisión sobre el cultivo de la nectarina (situación en España, características morfológicas y variedades más importantes)

y una revisión general sobre la tolerancia de los frutales a la salinidad ya que no existe información específica al respecto sobre la nectarina.

El capítulo III estudia el efecto de seis materiales de acolchado (incluyendo el tratamiento control de suelo desnudo) sobre la evaporación de agua del suelo, ya que esta variable es crítica desde el punto de vista de la conservación del agua del suelo en cantidad y calidad (salinidad). Este análisis se efectúa en condiciones controladas de laboratorio utilizando bandejas con suelo saturado en agua, y en condiciones de campo utilizando miniparcelas sin cultivo regadas por goteo.

El capítulo IV, foco principal de la tesis, presenta un estudio experimental de campo efectuado en el Bajo Ebro Aragonés (término municipal de Caspe- Zaragoza caracterizado por su clima semiárido) en el que se analiza el efecto de cuatro tratamientos de acolchado del suelo (control o suelo desnudo, plástico, geotextil y corteza de pino) sobre distintos parámetros del suelo y de una variedad temprana de nectarina (Bigtop®) regada por goteo con aguas de salinidad moderada. Entre las variables medidas en el suelo, cabe resaltar la evaporación medida por microlisimetría, la temperatura, la humedad y la salinidad. Entre las variables medidas en la nectarina, cabe resaltar la evapotranspiración, la densidad de longitud de raíces, la producción y calidad del fruto, y sus relaciones con la humedad, temperatura y salinidad del suelo.

En base a estas consideraciones, esta tesis plantea un objetivo general y cuatro objetivos específicos:

El **objetivo general** es analizar el efecto de distintos sistemas de acolchado en la conservación de los recursos agua y suelo y en la mejora de los parámetros productivos de una variedad temprana de nectarina regada por goteo con aguas de salinidad moderada.

Los objetivos específicos son:

- Cuantificar la efectividad de distintos tipos de acolchado en la reducción de la evaporación del suelo en condiciones de laboratorio y de campo.
- Determinar el efecto de cuatro tratamientos de acolchado del suelo (control o suelo desnudo, plástico, geotextil y corteza de pino) sobre la evaporación, temperatura, humedad y salinidad del suelo en una variedad temprana de nectarina regada por goteo con aguas de salinidad moderada.
- Analizar el efecto de estos cuatro sistemas de acolchado del suelo sobre la fenología, PAR interceptado, evapotranspiración, densidad de longitud de raíces, diámetro de tronco, potencial hídrico del tallo, precocidad, crecimiento del fruto, producción y calidad del fruto, eficiencia en el uso del agua y contenido iónico foliar en una variedad temprana de nectarina regada por goteo con aguas de salinidad moderada.
- Establecer las relaciones existentes entre la temperatura, humedad y salinidad del suelo y las variables productivas y de calidad del fruto en una variedad temprana de nectarina regada por goteo con aguas de salinidad moderada.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

II.1. Acolchado del suelo

El término acolchado del suelo (“mulching”) hace referencia a cualquier cubierta protectora que se extiende sobre el suelo y que constituye una barrera más o menos efectiva a la transferencia de calor y de vapor de agua. El acolchado puede consistir en un manto de restos vegetales formados natural o artificialmente (Turney y Menge, 1994), o en un material sintético (Robinson, 1988).

Los materiales utilizados tradicionalmente en los acolchados se clasifican en inorgánicos y orgánicos. Los materiales inorgánicos incluyen varios tipos de piedras (piedra volcánica, gravas), arena, materiales plásticos y materiales geotextiles, entre otros. En general estos acolchados tardan mucho tiempo en descomponerse, por lo que no necesitan ser renovados con frecuencia. Los acolchados inorgánicos de materiales plásticos son los más utilizados en el cultivo de hortalizas (McCraw y Motes, 2009). Los materiales orgánicos proceden generalmente de restos de cultivos que permanecen en el campo después de la cosecha, o de una gran variedad de otros productos generalmente derivados de los restos vegetales o restos de tejidos naturales. Estos acolchados se descomponen a diferentes ritmos dependiendo del tipo de material y de las condiciones ambientales, por lo que tienen que reponerse con más frecuencia que los inorgánicos.

Las ventajas del acolchado del suelo son numerosas, pero pueden tener algunos problemas prácticos de manejo. Los acolchados plásticos son en general duraderos pero acaban deteriorándose con el tiempo, por lo que hay que reponerlos y eliminar los restos adecuadamente. Los acolchados orgánicos hay que renovarlos periódicamente porque se descomponen y acaban perdiendo sus efectos beneficiosos (Haynes, 1980). Generalmente, los materiales utilizados en el acolchado no están disponibles en las fincas en las cantidades necesarias, por lo que deben ser trasladados hasta su lugar de uso, lo cual puede aumentar su coste de implantación que en general requiere un trabajo manual considerable.

II.1.1. Tipos de acolchado

II.1.1.1. Acolchado plástico

Los acolchados plásticos se han utilizado comercialmente desde los años sesenta para mejorar la producción de hortalizas (Lamont, 1993). Según datos del CICLOPLAST correspondientes al año 2009, el consumo de plásticos en España fue de unos tres millones de toneladas, de los que el sector agrícola consumió únicamente unos 0.3 millones (CICLOPLAST, 2009).

En cuanto al material, espesor y color, se utilizan diferentes tipos de láminas de plástico que varían dependiendo del objetivo de su uso, del cultivo y de la región. El polietileno es uno de los materiales plásticos más utilizados debido a que es fácil de procesar, tiene excelente resistencia física y química, alta durabilidad, flexibilidad y es inodoro en comparación con otros polímeros. La anchura de la lámina de plástico utilizada en los acolchados varía generalmente de 0.9 m a 1.5 m. En cuanto al espesor, inicialmente se utilizaban láminas más gruesas (de entre 30 y 50 micras), pero en la actualidad es común el uso de láminas de unas 15 micras (Gutiérrez et al., 2003).

Con el acolchado plástico se forma una barrera impermeable al flujo de vapor de agua que cambia el modelo de flujo de calor y de evaporación de agua (Tripathi y Katiyar, 1984). Este sistema afecta directamente al microclima alrededor de la planta, así como a otros parámetros como la humedad, la temperatura, la rugosidad, la resistencia aerodinámica y el albedo de la superficie del suelo (Tarara y Ham, 1999) lo que resulta en una mayor uniformidad de la humedad del suelo y en la reducción de las necesidades de agua de riego para los cultivos en zonas con alta demanda evaporativa. El acolchado plástico de color

negro es el estándar de la industria (Tarara, 2000), pero también se fabrica en otros colores con diferentes propiedades ópticas (Ngouajio y Ernest, 2005). Estas diferencias en las características ópticas afectan al modo en el que el acolchado plástico modifica el microclima alrededor del cultivo (Tarara, 2000).

Con respecto al uso de plásticos en arboricultura, la aplicación de acolchados de lámina de plástico en viticultura se ha convertido en una práctica común desde los años 1960 en algunas zonas productoras, principalmente para evitar el secado del suelo y la aparición de malas hierbas (Branas, 1969). El plástico también se ha utilizado en el melocotonero (Layne et al., 2001), manzano (Gurnsey y Lawes, 1999) y cítricos (Gaikwad et al., 2004).

El uso de acolchados plásticos puede suponer un grave problema medioambiental y paisajístico debido a su lenta degradación, su permanencia en el campo y la contaminación potencial del suelo por los restos que pueden quedar si no se retiran adecuadamente. El coste de la retirada de los restos plásticos es muy alto (Moreno et al., 2004), por lo que el uso de materiales biodegradables tiene un gran futuro. Esta degradación puede ser biológica (bacterias u otros agentes biológicos) o por la acción de la radiación solar.

II.1.1.2. Acolchado geotextil

Los geotextiles se definen como "textiles más o menos permeables usados en conjunción con el suelo, roca o cualquier otro material relacionado con la ingeniería geotécnica" (John, 1987). Los geotextiles se confeccionan con materiales naturales (yute, coco, sisal, paja de cereales, hojas de palma, etc.) o sintéticos (nylon, polipropileno, poliéster, polietileno, etc.) (Rickson, 2006). El geotextil se caracteriza por su multitud de aplicaciones. El uso de los geotextiles se define de acuerdo a las funciones que va a desempeñar, que pueden ser de separación, filtración, drenaje, refuerzo, contención de fluido/gas, control de la erosión o protección del suelo. En algunos casos los geotextiles pueden cumplir simultáneamente varias funciones.

Martin et al. (1991) indican que el uso del geotextil como acolchado del suelo es una tecnología en la que se buscan propiedades distintas a las del polietileno negro puesto que los geotextiles son permeables al agua y al CO₂. Los geotextiles sintéticos no son biodegradables y pueden causar la contaminación de los suelos. Sin embargo, a pesar de que estos materiales sintéticos dominan el mercado comercial, los geotextiles fabricados a partir de materiales orgánicos son muy eficaces en el control de la erosión y el establecimiento de la vegetación (Ogbobe et al., 1998), lo cual supone una gran ventaja medioambiental. El uso del geotextil no tejido de tipo polipropileno como acolchado en plantaciones frutales ha producido una mejora del rendimiento y de la calidad de la fruta en manzano (Czynczyk et al., 2004) y cerezo (Rozpara et al., 2008).

II.1.1.3. Acolchado de residuos orgánicos

Los materiales de acolchado orgánico se derivan de materiales de origen vegetal. Estos materiales se descomponen con el tiempo, incorporando materia orgánica al suelo, favoreciendo el desarrollo y la actividad de los microorganismos del suelo, y ayudando a mantener una temperatura relativamente constante para garantizar su actividad (Infante, 2004). Este aumento de la actividad de los microorganismos produce un cambio en las propiedades de transmisión de agua del suelo y un aumento de la retención de agua, lo que resulta en una mayor disponibilidad de agua para el cultivo y una menor evaporación (Hatfield et al., 2001). La dinámica de los procesos de descomposición de los materiales orgánicos, su acción residual y el aporte de elementos fertilizantes dependen de un conjunto de variables como la naturaleza de los productos, las características del suelo, las poblaciones y actividad de los organismos del suelo, y las características climáticas (Matheus et al., 2007).

Existen muchos productos de origen vegetal que pueden ser utilizados como cubierta orgánica del suelo, tales como el serrín, astillas o virutas de madera, hojas de pino, corteza de pino, restos de madera de poda, paja de distintos cereales, cascarilla de cereales y otros residuos vegetales. El uso de unos u otros depende de su disponibilidad y costo. El acolchado de suelo con residuos orgánicos se utiliza ampliamente en la producción integrada de frutales (Mika et al., 1998; Autio y Greene, 1991; Neilsen et al., 2003).

II.1.2. Efectos del acolchado sobre el suelo

II.1.2.1. Humedad del suelo

Se han realizado numerosos estudios para determinar la influencia del acolchado en la evaporación de agua desde el suelo y en su contenido de humedad (Cook et al., 2006; Ramakrishna et al., 2006; Yang et al., 2006). El acolchado debilita la intensidad del intercambio turbulento entre la atmósfera y el agua del suelo, lo que reduce su evaporación (Dong y Qian, 2002). Turney y Menge (1994) concluyen que el acolchado favorece la conservación de la humedad del suelo, disminuye la escorrentía superficial y la erosión del suelo y aumenta la permeabilidad y la capacidad de retención de agua del suelo. Tiwari et al. (1998) muestran la utilidad del acolchado en combinación con el riego por goteo en la conservación de la humedad del suelo. Estas técnicas de conservación de agua en el suelo reducen el estrés hídrico entre riegos y pueden permitir un aumento de los intervalos entre riegos sin afectar a la producción del cultivo (Baxter, 1970).

Los resultados de Zhang et al. (2008) muestran que la aplicación de acolchados aumenta significativamente la humedad del suelo en la capa superficial (0-5 cm) en comparación con el suelo desnudo. Chaudhry et al. (2004) indican que la tasa de infiltración de agua en el suelo cubierto con diferentes tipos de acolchados permeables llega a aumentar en un 30% en comparación con el suelo desnudo.

Los residuos vegetales provenientes de restos de cosecha reducen la evaporación al disminuir la cantidad de energía radiante absorbida por el suelo y al reducir el flujo de aire en la superficie del suelo. Dahiya et al. (2007) concluyen que estos residuos reducen la evaporación del suelo en un valor medio de 0.39 mm/día en comparación con el suelo desnudo. En un cultivo de vid, Stewart (2005) observó un mayor contenido de humedad del suelo acolchado con paja que en el suelo desnudo. Sin embargo, Mellouli et al. (2000) concluyen que la reducción de la evaporación con acolchados orgánicos disminuye con el tiempo. Faber et al. (2003) encontraron en un ensayo de cuatro años de duración que el acolchado de suelo con residuos de poda en dos plantaciones de aguacate y dos de cítricos conservaban de forma muy eficiente la humedad del suelo debido a la reducción significativa de las pérdidas de agua por evaporación en comparación con el suelo desnudo. Esta conservación de agua depende de las características del material usado.

El acolchado plástico es el más impermeable al vapor de agua ya que evita la evaporación directa y es el que conserva de forma más eficiente la humedad del suelo (Maurya y Lal, 1981; Jia et al., 2006; Ramakrishna et al., 2006). Sin embargo el plástico impide la infiltración de la lluvia en el suelo. Así, Hogue y Neilsen (1987) concluyeron que el acolchado orgánico fue más eficiente que el inorgánico en el aumento de la humedad del suelo en una plantación de manzanos debido probablemente a que la lluvia contribuyó a dicho aumento en el acolchado orgánico pero no en el inorgánico.

El acolchado geotextil también reduce la evaporación de agua (Walsh et al., 1996), aunque en menor medida que las cubiertas plásticas. Así, Dudeck et al. (1970) encontraron diferencias significativas en la humedad gravimétrica (HG) del suelo con (HG = 21-23%) y sin (HG = 13%) geotextil de yute en un suelo franco-arcillo-limoso. Asimismo, Walsh et al. (1996) mostraron en una plantación de manzanos que el acolchado del suelo con geotextil mantuvo la humedad del suelo a niveles más altos que en el suelo desnudo o en el suelo con un cultivo de hierba.

Díaz et al. (2005) investigaron el efecto del grosor y tamaño de un acolchado de piedra volcánica granulada sobre la evaporación del suelo en una región volcánica española con una precipitación inferior a 150 mm al año. Los resultados mostraron que la evaporación de agua disminuyó al aumentar el grosor del acolchado, de tal manera que se redujo un 92% y un 52% con acolchados de 10 y 2 cm de espesor, respectivamente. Fairbourn (1973) obtuvo en una región árida (precipitación media anual de 250 a 450 mm) unos rendimientos de maíz y sorgo significativamente mayores en suelos acolchados con grava (1.8 cm de diámetro y espesores de 2.5 y 3.8 cm) que en suelos desnudos o cubiertos con residuos de maíz.

En resumen, todos los materiales de acolchado reducen significativamente la evaporación y promueven la conservación de agua en el suelo en relación al suelo desnudo, pero su eficiencia depende fundamentalmente de las características del material utilizado y es ambiente-dependiente, ya que el acolchado plástico impermeable es el más eficaz para reducir la evaporación, pero en condiciones de elevadas precipitaciones algunos acolchados orgánicos pueden ser más eficientes que el plástico.

II.1.2.2. Temperatura del suelo

Un resultado positivo del acolchado es la disminución en las fluctuaciones de temperatura del suelo que se amortiguan en sus picos máximos y mínimos principalmente en los primeros 15 cm de profundidad (Leal, 2007). Esta amortiguación genera un mayor crecimiento radicular, especialmente en árboles jóvenes y en zonas con veranos muy cálidos (Turney y Menge, 1994). Debido al calentamiento del suelo, el acolchado proporciona al productor una herramienta de gran interés para aumentar la precocidad de los cultivos, especialmente en variedades tempranas hortícolas y frutícolas.

El efecto del acolchado en la temperatura del suelo depende de las características del material utilizado, siendo siempre la temperatura diurna más baja y la nocturna más alta que en el suelo desnudo (Robinson, 1988). El acolchado plástico se comporta como un filtro de doble efecto, acumulando calor en el suelo durante el día por el efecto invernadero y perdiendo parte del mismo durante la noche, lo que evita o disminuye el riesgo de heladas por bajas temperaturas del aire. Durante la noche, el film plástico detiene, en cierto grado, el paso de la radiación de onda larga (calor) del suelo a la atmósfera (Valenzuela y Gutiérrez, 2003).

Munguía et al. (2004) encontraron en un cultivo de melón bajo acolchado plástico que la temperatura media del suelo y del dosel vegetal fueron mayores que en el suelo desnudo. Asimismo, la radiación neta y el flujo de calor latente y sensible fueron también mayores, lo que produjo precocidad en el desarrollo del cultivo. Gaikwaid et al. (2004) encontraron en una plantación de mandarina bajo cuatro tratamientos de acolchado (plástico, césped de 5 y 10 cm de altura, y un suelo desnudo) que la temperatura del suelo fue máxima bajo el tratamiento plástico. Sin embargo, la evolución de la temperatura del suelo varía considerablemente según el color del acolchado y su composición. El plástico transparente permite el paso de la radiación luminosa que aumenta la temperatura del suelo, mientras que el plástico negro absorbe la mayor parte de la radiación y obstaculiza hasta cierto grado el calentamiento del suelo.

Stinson et al. (1990) indican que el acolchado orgánico permite mantener la temperatura del suelo más baja en verano y más alta en invierno, siendo las temperaturas de los diferentes acolchados significativamente más bajas en verano en comparación con el suelo desnudo. Asimismo, Walsh et al. (1996) indican que la paja mantiene una temperatura más constante y más baja que el suelo desnudo. Yang et al. (2006) encontraron que la temperatura del suelo bajo acolchado de paja se mantiene tanto en días soleados como en días nublados por debajo de la temperatura del suelo bajo acolchado plástico. Sin embargo, las temperaturas en suelos cubiertos por geotextil tienden a ser mayores y tienen mayor variabilidad que en el suelo bajo acolchado orgánico (Fear y Nonnecke, 1989).

El incremento de la temperatura del suelo por efecto del acolchado puede ser beneficioso para los cultivos debido al aumento en la mineralización de nutrientes, pero puede también aumentar la desecación del suelo y generar un estrés hídrico en el cultivo (Walsh et al., 1996). Richards (1983) concluyó que el acolchado puede proporcionar un ambiente ideal para el desarrollo de las raíces que es esencial para el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Este autor indica que el crecimiento de raíces en viña tiene generalmente lugar cuando las temperaturas superan los 6 °C, alcanzando el óptimo a 30 °C. Muchos autores han demostrado que la temperatura de la zona radicular de la vid influye en la brotación, en el crecimiento de los brotes y en la composición de la fruta en un ambiente controlado (Leal, 2007).

En resumen, el acolchado amortigua las fluctuaciones de temperatura del suelo y puede aumentar la precocidad de las cosechas, la temperatura del suelo y el crecimiento radicular, aunque estos resultados dependen del material de acolchado.

II.1.2.3. Estructura y fertilidad del suelo

La estructura del suelo acolchado se mantiene en un mejor estado que la del suelo desnudo gracias a su protección contra los agentes atmosféricos. El efecto beneficioso del acolchado en la estructura del suelo es consecuencia principalmente de una amortiguación de la energía cinética de las gotas de lluvia (y aspersión en su caso) que reduce la dispersión física del suelo y el sellado superficial, manteniendo la tasa de infiltración de agua en el suelo (Erenstein, 2002). Además el aumento de la temperatura y de la humedad del suelo favorece la mineralización del suelo, lo que genera una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas (entre otros el nitrógeno) y un aumento de la materia orgánica del suelo. El acolchado protege el suelo de la erosión de la lluvia, de las tormentas de granizo y de la desecación del suelo por el viento (Smets y Poesen, 2009).

Los acolchados orgánicos favorecen la actividad de la microfauna del suelo y la proliferación de raíces, lo que disminuye la compactación del suelo debido a la agregación de las partículas finas de arcilla. Además, en la decomposición de la materia orgánica se forman compuestos cementantes que crean agregados más estables, lo que favorece el movimiento de gases tales como CO₂ y O₂ y aumenta la fertilidad del suelo (Turney y Menge, 1994). Según Ceccanti et al. (2007), la aplicación de paja en la superficie del suelo aumenta el contenido de materia orgánica caracterizada por un alto índice de humificación. Ghosh et al. (2006) confirman estos resultados, encontrando que el acolchado de suelo con paja de trigo genera hábitats más favorables para las lombrices, insectos y microorganismos, lo que contribuye a reducir la densidad aparente del suelo en comparación con el acolchado del suelo con polietileno. Así, uno de los efectos más significativos del acolchado del suelo con material orgánico es el relacionado con la porosidad, que aumenta hasta una profundidad de 50 cm, permitiendo una buena aireación del suelo y un desarrollo mayor del sistema radicular (Tesi, 2000), lo que conduce a una mejor absorción del agua y de los nutrientes del suelo. Jordán et al. (2010) encontraron en una zona semi-árida del sur de España que el acolchado con diferentes cantidades de paja de trigo (0, 1, 5, 10 y 15 Mg ha⁻¹) produjo en la parte superficial del suelo (0 a 10 cm de profundidad) un incremento significativo del contenido de materia orgánica, de la porosidad y de la estabilidad estructural del suelo después de 3 años de tratamiento con respecto al suelo desnudo. La mejora de estas propiedades químicas y físicas condujo a una disminución de la escorrentía y erosión para aplicaciones de paja por encima de 5 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Asimismo, Lattanzi et al. (1974) concluyeron que la erosión laminar se redujo en un 40 y 80% con la aplicación de 0.5 y 2.0 Mg ha⁻¹ de paja de trigo, respectivamente, en relación al suelo desnudo.

La disminución de la erosión reduce también las pérdidas de nutrientes y fertilizantes. Así, Rees et al. (1999) concluyen que la aplicación de 2.25 Mg ha⁻¹ de paja de trigo redujo las pérdidas de NO₃, N, P, K, Mg y Ca en el suelo. Según Neilsen et al. (2004), algunos materiales orgánicos (distintos bio-sólidos cubiertos por tiras de papel y paja de alfalfa) usados como coberturas también fueron capaces de aumentar los minerales disponibles del

suelo y mejorar la actividad microbiana y el desarrollo de raíces, afectando positivamente al crecimiento y rendimiento del manzano.

En resumen, el acolchado mejora la estructura del suelo y previene su compactación y la formación de costras superficiales impermeables. Asimismo, el suelo acolchado permanece más aireado y con una porosidad mayor que la del suelo desnudo, lo que favorece un buen desarrollo del sistema radicular y un uso eficaz de los nutrientes.

II.1.2.4. Control de malas hierbas

El método recomendado para la gestión de los suelos en árboles frutales al comienzo de los años 1950 fue el uso de herbicidas a lo largo de las líneas de árboles y el mantenimiento de una cubierta de gramíneas en las calles entre líneas (Hogue y Neilsen, 1987). Este método elimina la competencia de las malas hierbas con el frutal pero requiere el uso de herbicidas para mantener limpias las líneas.

El acolchado del suelo con materias inertes u orgánicas constituye una alternativa a los métodos tradicionales de control de malas hierbas ya que no produce la contaminación del medio (suelo o aguas subterráneas) por productos fitosanitarios ni ocasiona problemas de erosión. El acolchado del suelo con materiales opacos evita la penetración de la luz y constituye una barrera física para la emergencia de la flora arvense (Teasdale, 2003). Asimismo, Walsh et al. (1996) indican que el acolchado controla la maleza favoreciendo su asfixia y evitando la germinación de las semillas de las malas hierbas.

Crossman y Palada (1998) indican que el acolchado es eficiente para el control del crecimiento de malas hierbas en cebolla y perejil. En estos experimentos, el acolchado del suelo con paja y plástico de diferentes colores (plata, negro y blanco) tuvieron un efecto significativo sobre la reducción del número y del peso fresco y seco de las malas hierbas, con un mayor efecto del acolchado plástico. Asimismo, se ha observado que con acolchados de corteza y serrín de pino se desarrolla una menor cantidad de malas hierbas que con acolchados de paja debido a los fenoles y taninos presentes en la corteza de las coníferas (Robinson, 1988).

II.1.2.5. Salinidad del suelo

El control de la salinidad del suelo es fundamental para la producción óptima de los cultivos. Las prácticas que reducen la evaporación del agua (efecto evapo-concentración) y/o favorecen el flujo descendente de agua en el suelo (efecto lavado) son claves para el control de la salinidad en la zona radicular de los cultivos.

El acolchado es una práctica eficaz que reduce la salinidad y conserva la humedad en la zona radicular (Rahman et al., 2006), principalmente en los primeros cm de suelo (Stewart 2005; Zhang et al., 2008), lo que permite el uso de aguas más salinas sin un efecto tan perjudicial sobre el crecimiento de los cultivos. Zhang et al. (2008) indican que en suelos desnudos la mayor acumulación de sales se produce en el suelo superficial debido al efecto evapo-concentración.

El daño causado por las sales solubles es más severo durante la emergencia y crecimiento inicial de ciertos cultivos. Así, Dong et al. (2008) concluyen que el acolchado de algodón mantuvo un mayor contenido de humedad, redujo la evaporación y salinización del suelo y favoreció una buena emergencia y establecimiento del cultivo.

Smith (1962), citado por Gonzalo (2009), trabajando en una región semiárida del oeste de Australia, concluyó que el acolchado con una capa de arena de 5 cm fue efectivo para aumentar el lavado de sales durante las lluvias de invierno, así como para reducir la evaporación y el consiguiente ascenso capilar de sales en verano.

En un ensayo realizado en un cultivo de pimiento, Zhang et al. (2008) concluyen que el aumento de la salinidad del agua de riego incrementó la salinidad del suelo, pero el uso de

acolchados de polietileno, paja de arroz, hojas de pino y grava disminuyó la concentración de sales en el suelo en comparación con el suelo desnudo. Las diferencias de salinidad del suelo en los diferentes acolchados fueron escasas y, en general, no significativamente diferentes entre sí.

El efecto del acolchado sobre la salinidad del suelo depende de la tasa de evaporación del suelo y del tipo de acolchado. En un cultivo de acelga regado con aguas de diferentes niveles de salinidad, el aumento de la salinidad del agua de riego incrementó la salinidad del suelo desnudo. Sin embargo, los acolchados con grava, hojas de pino y paja de arroz redujeron la salinidad al 61, 62 y 50%, respectivamente, de la salinidad del suelo desnudo (Zhang et al., 2008).

Chaudhry et al. (2004) evaluaron el efecto de diferentes acolchados [suelo desnudo (Desnudo), acolchados con paja de arroz (Paja), lámina de polietileno (Plástico) y suelo con una labor mecánica (Laboreo)] sobre la humedad, salinidad y sodicidad de un suelo arcillo-limoso en una plantación de eucalipto regada con un agua de $CE = 1.7 \text{ dS/m}$ y $RAS = 13.5 \text{ (mmol/l)}^{0.5}$ durante un año. La evaporación del tanque clase A durante el período de estudio fue de unos 570 mm, la lluvia de 174 mm y el número de riegos varió entre 4 y 7 según tratamientos. El mayor descenso de salinidad a la profundidad 0.15 cm (% de cambio de la CEE final respecto a la inicial) se obtuvo con la paja (-53%), seguido del Laboreo (-34%) y el plástico (-5%), mientras que la salinidad aumentó un 8% en el Desnudo. El mayor descenso de sodicidad (RASE) se obtuvo en la Paja (-45%), Laboreo (-32%), Plástico (-0.4%) y Desnudo (-7%), mientras que la humedad aumentó un 45% en Plástico, 30% en Paja y 15% en Laboreo (sin datos en el Desnudo). Los mayores descensos de salinidad y sodicidad en los tratamientos de Paja y Laboreo fueron debidos a la lluvia, mientras que el Plástico sería el acolchado más eficiente desde el punto de vista de la reducción de la evaporación.

En riego por goteo las sales se desplazan hacia la periferia de los bulbos humedecidos por los goteros (Hoffman y Shannon, 2007). Dado que este riego suele ser de alta frecuencia, la superficie del suelo está húmeda continuamente, por lo que la tasa de evaporación y la evapo-concentración pueden ser elevadas. Cuando se acolcha el suelo, la concentración de sales en la superficie del suelo disminuye debido a una menor evapo-concentración del agua del suelo. Asimismo, la cantidad de sales incorporada con el agua de riego disminuye si se reduce el volumen de riego aplicado. Así, ensayos con acolchado de compost en un cultivo de vid redujeron el agua aplicada en un tercio, reduciéndose asimismo la salinidad del suelo ya que las sales del agua de riego eran el mayor input de sales en el suelo (Buckerfield y Webster, 2002).

La disminución de la evaporación del suelo con el acolchado lleva a una distribución más homogénea de la salinidad en el perfil del suelo (García, 2008). Tejedor et al. (2003) estudiaron el efecto del acolchado de suelo con lavas volcánicas sobre la recuperación de suelos salinos y sódicos, concluyendo que la variabilidad espacial de la CE en el perfil del suelo acolchado fue muy inferior a la del suelo desnudo.

Yang et al. (2006) estudiaron el efecto de cuatro sistemas de acolchado (suelo desnudo, planchas de hormigón, paja y plástico) sobre la salinidad del suelo. Sus resultados mostraron que estos acolchados produjeron efectos significativos en la reducción de la salinidad del suelo en comparación con el suelo desnudo, con un mayor efecto del acolchado con planchas de hormigón de 3 cm de espesor, seguido por la paja y el plástico. Estos autores concluyen que el mayor efecto del acolchado con paja en la reducción de la salinidad del suelo en comparación con el acolchado plástico puede atribuirse a que la paja permite el paso de la lluvia y favorece el lavado de sales.

Wan et al. (2010) estudiaron durante tres años el uso de aguas de baja calidad (CE entre 1.1 y 4.9 dS/m) para el riego por goteo suplementario de un cultivo de pepino con suelo acolchado bajo plástico negro. El plástico se eliminaba entre los periodos de cultivo para favorecer el lavado de sales por la lluvia (media anual de 620 mm en la zona de estudio). La emergencia del cultivo se realizó con el agua de menor salinidad. El riego se aplicaba

cuando el potencial matricial del suelo a 20 cm de profundidad bajo el gotero bajaba de -20 KPa. Los resultados mostraron una C_{Ee} relativamente baja en la zona radicular en el periodo de desarrollo del cultivo debido al lavado frecuente de sales con el riego suplementario y las lluvias. A pesar de ello, la salinidad del agua de riego (C_{Ear}) afectó negativamente al número de frutos y a la producción, que descendieron un 5.7% por incremento unidad de C_{Ear}. Las máximas pérdidas del rendimiento fueron de alrededor del 25% para la CE del agua de riego de 4.9 dS/m en comparación con el control.

Wang et al. (2011) llevaron a cabo un ensayo de cultivo de algodón en un suelo extremadamente salino para investigar el efecto del riego por goteo y acolchado plástico sobre la distribución de sales y la producción de algodón. El ensayo incluyó cinco tratamientos con potenciales matriciales a 20 cm de profundidad entre -5 y -25 KPa después de emergencia. Cuando el potencial fue inferior a -25 kPa, se alcanzó una salinidad favorable en la zona de raíces a lo largo de la estación de crecimiento del cultivo. La C_{Ee} media al final de la estación de riego disminuyó con el descenso del potencial matricial del suelo. Después de los tres años del ensayo, la producción media alcanzó el 84% de la producción en suelo no salino. Estos autores concluyen que pueden utilizarse aguas de riego de hasta 4.9 dS/m si se adoptan estrategias de manejo adecuadas tales como el uso del riego por goteo con acolchado de polietileno negro.

Tejedor et al. (2003) estudiaron la diferencia en el contenido iónico de suelos acolchados y desnudos. Sus resultados indican que las concentraciones de los iones Cl⁻ y Na⁺ fueron bajas en el suelo acolchado y más altas en el suelo desnudo. La concentración de Na⁺ y Ca⁺⁺ difirió significativamente en ambos suelos, con un mayor contenido de Na⁺ intercambiable en el suelo desnudo.

Por otro lado, el acolchado puede limitar el lavado de nitratos y la contaminación de las aguas subterráneas. Romić et al. (2003) realizaron un ensayo de campo de dos años de duración en un cultivo de pimiento regado por goteo para analizar el efecto de dos tipos de acolchado (polietileno negro y celulosa biodegradable) y del suelo desnudo sobre el lavado del nitrógeno. El uso del polietileno negro redujo significativamente este lavado, seguido por la celulosa biodegradable en comparación con el suelo desnudo.

Otros trabajos analizan el efecto del acolchado sobre el contenido iónico en las hojas de distintos cultivos. Dong et al. (2009) concluyen que el acolchado redujo el contenido de Na⁺ en las hojas de algodón. Stewart (2005) concluye que en el tercer año de un ensayo en vid el contenido de Cl⁻ y Na⁺ en el pecíolo de las hojas era menor en plantas cultivadas en suelo acolchado con paja que en suelo desnudo. Asimismo, Cabañero et al. (2004), y Rubio et al. (2003) (citado por García, 2008) concluyen que el acolchado plástico favoreció la absorción de Ca⁺⁺ y redujo la absorción de Na⁺ en pimiento. Estos resultados confirman que el acolchado disminuye la evaporación directa de agua desde el suelo, por lo que aumenta el contenido de agua del suelo y disminuye la concentración de sales en la solución del suelo, lo que reduce la absorción de sales por las plantas.

II.1.3. Efectos del acolchado sobre las plantas

II.1.3.1. Transpiración de las plantas

La transpiración se define como la pérdida de vapor de agua a través de las estomas y de la cutícula de las hojas de las plantas. El agua se mueve en el continuo suelo-planta-atmósfera (SPA) desde el suelo hasta la capa atmosférica situada sobre el dosel vegetal. La fuerza motriz que hace que el agua se mueva en el continuo SPA es el gradiente de potencial de agua. La tasa de transpiración de una planta depende por lo tanto de la demanda evaporativa existente en la atmósfera y del potencial hídrico del suelo que está directamente relacionado con el contenido de agua en el suelo (Bond y Kavanagh, 1999).

En un suelo acolchado la evaporación directa de agua desde la superficie del suelo es baja, y la transpiración representa la vía fundamental de pérdida de agua del suelo (Hou et al.,

2010). Sin embargo, en un suelo desnudo la evaporación directa puede ser muy importante dependiendo fundamentalmente del clima, la frecuencia de los riegos y lluvias, la textura del suelo y la proporción de suelo sombreado por el cultivo. Tolk et al. (1999) encontraron valores más altos del índice de área foliar (IAF) en cultivos con acolchado plástico que en los mismos cultivos en suelo desnudo. Este resultado lo explican por la mayor humedad en el suelo acolchado que se emplea principalmente en transpiración y por consiguiente en un mayor crecimiento de las plantas. El aumento de la transpiración total aumenta la producción de biomasa y el rendimiento del cultivo y mejora también la eficiencia del uso del agua.

Allen et al. (1998) indican que el acolchado plástico reduce substancialmente la evaporación de agua (E) y que, asociada a esta reducción, se produce un incremento en la transpiración (Tc) causado por la transferencia de calor sensible y radiante desde la superficie plástica hacia la vegetación adyacente. A pesar de que la Tc estacional en suelos acolchados puede aumentar entre un 10 y un 30% respecto a la del suelo desnudo, el valor de ETc desciende en torno a un 10-30% debido a la reducción de E de en torno a un 50-80% (valores medios deducidos en cinco cultivos). Este aumento de Tc hace que generalmente el crecimiento y rendimiento de los cultivos aumente en suelos bajo plástico en relación con estos valores en suelo desnudo.

Los resultados de Kadayifci et al. (2004) indican que el acolchado redujo la evapotranspiración de un cultivo de lechuga en comparación con el suelo desnudo debido a la eliminación de la evaporación. Dicha eliminación aumenta el agua disponible para la transpiración, de tal manera que la misma aumentó un 35% en el suelo acolchado respecto a la del suelo desnudo.

García (2008) concluye que el acolchado plástico aumenta la conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis de un cultivo de pimiento en un 49, 34 y 20%, respectivamente, respecto a los valores medidos en suelo desnudo. Sun et al. (2012) encontraron en un cultivo de azufaifo regado en surcos bajo cuatro sistemas de acolchado (suelo desnudo, paja, plástico y planchas de hormigón) que, en promedio para los dos años estudiados, las planchas de hormigón y el plástico redujeron la ETc en un 14% y la paja en un 5% respecto a la ETc del suelo desnudo. Estas reducciones no produjeron descensos de rendimiento, lo que implica que la eficiencia en el uso del agua fue mayor en los acolchados que en el suelo desnudo.

En resumen, el acolchado reduce la evaporación (E), particularmente en riegos de alta frecuencia y suelos poco sombreados, aumenta la transpiración (Tc) y reduce la evapotranspiración (ETc), pero no queda muy clara la proporción relativa de la transpiración y evaporación en los suelos acolchados en comparación con el suelo desnudo.

II.1.3.2. Precocidad de las plantas

Dentro de las ventajas que proporciona el uso de acolchados al agricultor, un aspecto de gran interés es la inducción de precocidad en los cultivos debida al calentamiento del suelo, especialmente en variedades tempranas (Ramakrishna et al., 2006). Así, dependiendo de las condiciones climáticas (McCraw y Motes, 2009), el inicio de la cosecha con el acolchado plástico puede adelantarse entre 7 a 14 días según cultivos lo que puede tener importantes beneficios económicos.

La utilización de acolchados plásticos favorece un rápido crecimiento y un incremento del rendimiento en melón (Lamont et al., 1993; Arrellano et al., 2003), tomate y pimiento (Ibarra, 2004). La radiación neta y el flujo latente y sensible de calor fueron también mayores en el suelo bajo plástico, lo que produjo precocidad en el desarrollo del cultivo. Asimismo, Arrellano et al. (2003) concluyen que la cosecha del melón en suelo bajo acolchado plástico se inició a partir de la segunda semana de mayo, mientras que en el sistema tradicional (suelo desnudo) se inició tres semanas después, incrementándose significativamente el precio de venta del melón temprano. Czynczyk et al. (2004) observaron un crecimiento más

rápido de los árboles de manzanos y una fructificación más precoz de los árboles cultivados con acolchado de polipropileno negro que con la corteza de pino.

Ante la creciente competitividad de los mercados alimentarios y la importancia de introducir cuanto antes las frutas y hortalizas en el mercado, el acolchado del suelo puede constituir un factor de éxito económico muy relevante para el productor hortofrutícola.

II.1.3.3. Calidad del fruto

Como se ha mencionado en apartados anteriores, el acolchado del suelo tiene un efecto importante sobre las condiciones ambientales del suelo y el microclima alrededor de la planta. Estas modificaciones afectan principalmente al ambiente térmico, la humedad, la salinidad y la estructura física del suelo, al control de las malas hierbas, y a la fotosíntesis, transpiración y eficiencia en el uso del agua por las plantas. En general, estas modificaciones influyen de una manera positiva en el crecimiento y el rendimiento de la cosecha en distintos cultivos leñosos como la viña (Leal, 2007; Hosteler et al., 2007), manzano (Mika et al., 2007; Szewczuk y Gudarowska, 2004) y melocotón (Layne et al., 2001; Szewczuk y Gudarowska, 2004).

El acolchado no solo tiene efectos positivos en el rendimiento, sino también en la calidad del fruto. Sin embargo, esta respuesta en la calidad del fruto depende del tipo de acolchado, de su color y del grado de modificación del microclima en el dosel vegetal y en el propio cultivo. Stewart (2005) concluye que el acolchado del suelo con paja de trigo de un cultivo de uva de mesa no tuvo un efecto consistente en la calidad de la baya ni en su composición. Resultados similares fueron observados por Jacometti et al. (2007) en viñedo para vinificación en suelo acolchado con papel y orujo de uva compostada. Hosteler et al. (2007) encontraron pequeñas diferencias en sólidos solubles totales, acidez total y pH entre las bayas de viñas acolchadas con geotextil de color blanco y negro y las bayas de viñas cultivadas en suelo desnudo. Por el contrario, la utilización de acolchado plástico negro en una plantación de manzano aumentó la captación de Ca en las hojas y frutos, lo que resultó en un aumento de la calidad de la fruta, un mejor almacenamiento de la fruta en postcosecha y una reducción significativa de la incidencia del desorden fisiológico del bitter pit (Lang et al., 2001).

Farios-Larios y Orozco-Santos (1997) (citado por Ekinci y Dursun, 2009) encontraron que la anchura y la longitud de los frutos de melón bajo acolchados de polietileno blanco y negro fueron significativamente mayores que los obtenidos en suelo desnudo. En un ensayo de acolchado con grava en un cultivo de sandía, Xie et al. (2006) concluyeron que la eficiencia en el uso del agua, el rendimiento y los carbohidratos solubles en los frutos fueron significativamente mayores en el suelo acolchado que en el desnudo. Wolstenholme et al. (1997) observaron que el uso de acolchado de corteza de pino durante tres temporadas consecutivas produjo un aumento tanto en la producción como en el número y peso de los frutos de aguacate. Experimentos de campo en fresa, manzano, melocotón y viña con acolchados plásticos coloreados reflectantes mostraron efectos positivos en la precocidad de la cosecha y en el color del fruto (Gurnsey y Lawes, 1999).

II.1.4. Síntesis sobre los acolchados del suelo

Los resultados presentados en los capítulos anteriores acerca de las ventajas y limitaciones del acolchado del suelo son extensos, claros en algunos aspectos (reducción de la evaporación directa de agua desde el suelo y disminución de la concentración de sales en la solución del suelo) y contradictorios en otros (aumento o disminución de la temperatura del suelo según el tipo de acolchado). En este apartado se ha tratado de sintetizar y resaltar los efectos beneficiosos y negativos del acolchado que pueden sustentarse con más consistencia. La Tabla II.1 presenta una síntesis cualitativa de los efectos positivos y negativos del acolchado sobre los diferentes atributos revisados en este trabajo y otros de tipo más agronómico, y la Tabla II.2 detalla los efectos positivos de los acolchados plástico,

orgánico y geotextil (los tres que se analizan en esta Tesis Doctoral) sobre el suelo y la planta, clasificando los mismos en tres grupos con beneficios bajos (+), medios (++) y elevados (+++).

Tabla II.1. Síntesis cualitativa de los efectos positivos y negativos del acolchado del suelo desde el punto de vista de la humedad, temperatura, estructura y salinidad del suelo.

Efectos positivos	Efectos negativos
<ul style="list-style-type: none"> • Ahorro de agua en el suelo, impidiendo o limitando la evaporación desde su superficie. El agua ahorrada queda a disposición del cultivo, que se beneficia de un suministro más constante y regular. • Disminución en las fluctuaciones de temperatura del suelo. Los acolchados plástico y geotextil se comportan como un filtro de doble efecto, acumulando calor durante el día y liberándolo durante la noche, lo que reduce el riesgo de heladas por bajas temperaturas del aire. El acolchado orgánico mantiene temperaturas bajas del suelo, limitando su calentamiento durante las épocas calidas del año. • Reducción del aumento de la salinidad y sodicidad del suelo que se produce por efecto de la evapoconcentración de agua y sales en la superficie del suelo. • Disminución de la escorrentía superficial y de la erosión del suelo, y protección de la estructura del suelo, incrementando su porosidad y la densidad de raíces de las plantas, lo que conduce a una mayor absorción de agua y nutrientes y a unos mayores rendimientos. • Degradación de los acolchados orgánicos que aportan materia orgánica al suelo y restablecen el equilibrio biológico, físico, químico y ecológico del suelo. • Costes muy bajos en el caso de restos de cosecha que constituyen cubiertas biodegradables a nivel local. • Incremento en la precocidad y en ciertos casos en la calidad del producto cosechado. • Mayores beneficios económicos (a estudiar caso por caso) 	<ul style="list-style-type: none"> • Costes elevados de adquisición, instalación (transporte, maquinaria especializada y/o mano de obra) y eliminación (mano de obra y transporte) de los acolchados plástico y geotextil. • Problemas medioambientales derivados de los restos plásticos no bio-degradables • Riesgo de incendios con los acolchados orgánicos (paja, cortezas, serrín, etc.). • Posible proliferación de roedores y, en el caso de acolchados plásticos, de plagas. • El acolchado plástico puede inducir cambios térmicos del suelo negativos para las plantas. • El acolchado plástico impide la entrada de agua de lluvia en la zona de raíces, limitando el lavado de sales. • El acolchado orgánico puede incorporar semillas de malas hierbas al suelo. • Resultados variables y no extrapolables ya que dependen del tipo de cubierta, suelo, cultivo, clima y manejo agronómico.

Tabla II.2. Intensidad de los efectos positivos (bajo: +; medio: ++; elevado: +++) del acolchado plástico, orgánico y geotextil sobre diferentes atributos de suelo [humedad (Hum), temperatura (Tem), salinidad (Sal) y estructura (Est)], control de malas hierbas (CMH), y planta [transpiración (Tra), precocidad (Pre) de la planta y del fruto (Fru)] revisados en este trabajo.

	Hum	Tem	Sal	Est	CMH	Tra	Pre	Fru
Acolchado orgánico	++	+	++	+++	++	+		++
Acolchado plástico	+++	+++	++	++	+++	+	+++	++
Acolchado geotextil	+	++	++	++	++	+		

II.2. El cultivo de nectarina

II.2.1. Situación del cultivo de nectarina

En el contexto mundial, el melocotonero y la nectarina son frutales muy extendidos que alcanzan una producción anual de 20.32 millones de Mg en una superficie de 1.56 millones de hectáreas (FAO, 2011). A nivel de la Unión Europea (UE), España es el segundo país productor de melocotón y nectarina después de Italia, seguido por Francia y Grecia. La Figura II.1 presenta la aportación media de los años 2008 a 2012 de estos países a la producción de nectarina en la Unión Europea.

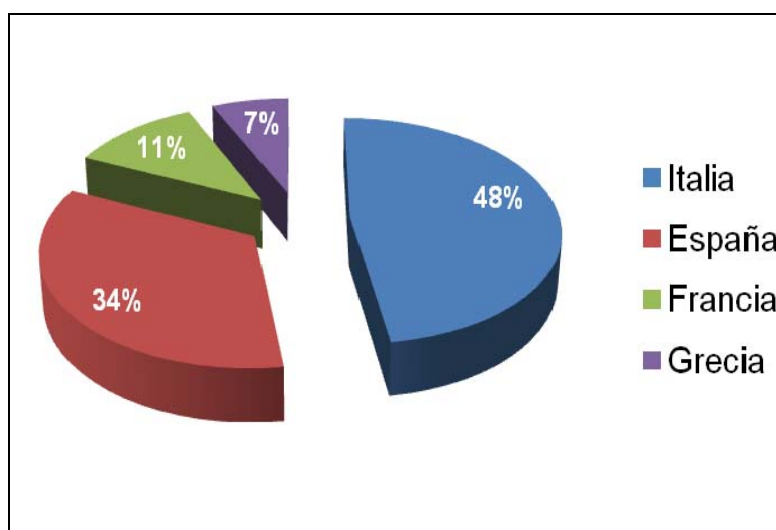


Figura II.1. Contribución de los principales países productores a la producción de la nectarina en la Unión Europea. Datos medios del periodo 2008-2012 (Fuente Europêch, 2012).

El melocotonero y la nectarina son actualmente la especie frutal de mayor producción en España. En el año 2010 la superficie de melocotonero era de 51100 ha y la de nectarina de 31600 ha con producciones de 757300 Mg de melocotón y de 429500 Mg de nectarina (MAGRAMA, 2011). Su cultivo se localiza principalmente en las regiones del arco mediterráneo, con las mayores producciones en Cataluña, Aragón y Murcia (Figura II.2). Aragón cuenta con cerca de 45000 hectáreas de frutales y hortalizas, de las que en el año 2010, 11948 ha fueron de melocotonero y 6211 ha de nectarina, lo que la convierte en la segunda Comunidad autónoma productora de este tipo de frutas en España. La producción anual en el año 2010 en la Comunidad aragonesa ascendió a 192043 Mg de melocotón y 92496 Mg de nectarina (MAGRAMA, 2011). Las comarcas aragonesas con mayor producción son el Bajo Cinca, Valdejalón y Bajo Aragón-Caspe.

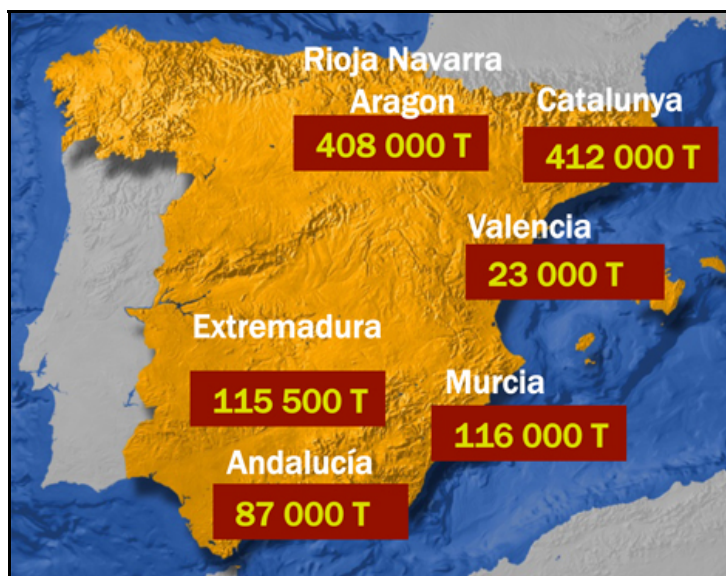


Figura II.2. Previsión de producción del melocotón y de la nectarina en España en el año 2012 (Fuente Afrucat, 2012).

La evolución de la producción del melocotón y de la nectarina en España en el período 2003-2010, muestra un notable incremento de la producción de nectarina y un descenso de la producción del melocotón a partir del año 2005 (Figura II.3).

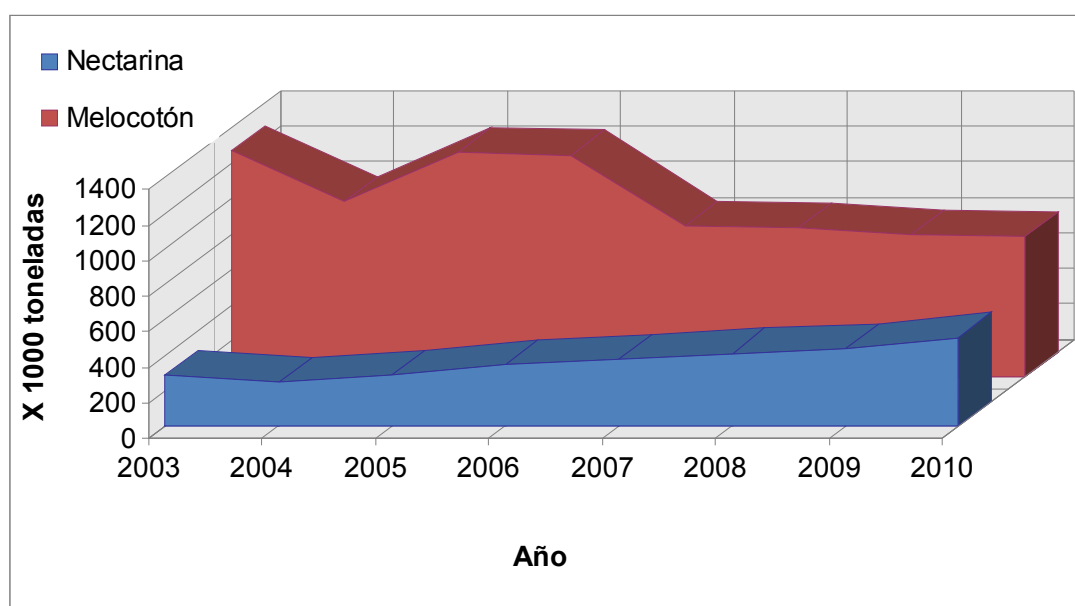


Figura II.3. Evolución de la producción del melocotón y de la nectarina en España durante el período 2003-2010 (Fuente MAGRAMA, 2011).

II.2.2. Características morfológicas de la nectarina

La nectarina (*Prunus persica* (L.) Batsch Var. nectarina) es una especie que pertenece a la familia de las Rosáceas. La nectarina es un melocotón sin pubescencia derivado de la mutación del gen dominante de la pelusa por el gen recesivo de la piel suave. El primer caso registrado de un melocotonero que producía nectarinas tuvo lugar en 1741.

Los frutos de nectarina se producen en madera de un año de yemas florales formadas en el anterior periodo vegetativo. Las yemas florales se inician en verano después de que el

crecimiento de los nuevos brotes se reduzca. Los distintos cultivares de nectarina varían en cuanto a la resistencia al frío y requieren desde menos de 100 a más de 1000 horas-frío (horas acumuladas por debajo de 7.2°C) para un desarrollo normal de las yemas.

El sistema radical del melocotonero y de la nectarina consiste en una estructura permanente de raíces principales gruesas y suberizadas acompañada del crecimiento de nuevas raíces conforme se desarrolla el árbol (Doussan et al., 1999). Estas raíces jóvenes son responsables de la mayoría de la extracción de agua del suelo.

Richards y Cockcroft (1975) mostraron que el crecimiento de las raíces del melocotonero adulto es periódico y que solo los árboles jóvenes (antes de fructificar) mantienen un crecimiento continuo de raíces de color blanco (el color blanco es indicativo de raíces nuevas) en la profundidad de 0-30 cm del suelo durante todo el año. Estos autores atribuyeron al déficit hídrico la ausencia de producción de raíces durante el verano en árboles adultos. Por el contrario, el riego en verano condujo a la producción de nuevas raíces. Glenn y Welker (1993) indicaron en sus estudios sobre árboles de melocotonero que aunque el suelo estuvo seco en septiembre y octubre hubo una emisión de raíces y sin embargo en julio y agosto, también con el suelo seco, no se observó crecimiento de raíces. Abrisqueta et al. (2008) muestran en un ensayo de melocotonero temprano con distintos tratamientos de riego localizado (control, 100% de la ETc), 50% de la ETc y un tratamiento de riego parcial de raíces) que el crecimiento de raíces disminuyó durante el período de crecimiento de la fruta y aumentó después de la cosecha, alcanzando su pico máximo a mediados y finales del mes de julio. El crecimiento de raíces se redujo de nuevo en los meses de otoño.

Los árboles adultos de nectarina y melocotonero con un sistema radical más extenso y profundo fueron más tolerantes al estrés hídrico que los árboles jóvenes con sistemas radicales menos extensos y más superficiales (Layne y Tan, 1988; Layne et al., 1986). A pesar de que las raíces finas son las que absorben la mayor proporción de agua del suelo, se ha demostrado que las raíces suberizadas también pueden ser eficaces en la absorción de agua y nutrientes (VanZyl, 1988).

Con respecto al tronco, se trata de una especie basitona con las ramillas inferiores más vigorosas que las superiores. Las hojas son oblongas, lanceoladas, con una longitud generalmente de 140-180 mm y una anchura de 40-50 mm. El limbo es liso, a veces ondulado a lo largo del nervio central, los bordes son serrados o doblemente dentados.

El fruto es una drupa con una epidermis delgada, un mesocarpio carnoso y un endocarpio o hueso no adherido a la pulpa que contiene una semilla. La forma del fruto es más o menos globosa con una línea de sutura y una cavidad alrededor del pedúnculo. Su piel es lisa con color atractivo y una pulpa muy sabrosa.

II.2.3. Variedades de nectarina

La nectarina ha sido la especie de fruta dulce donde la innovación en cuanto a aparición de nuevas variedades ha sido mayor, siendo un árbol frutal muy extendido en los últimos años. En la actualidad se dispone de más de 150 variedades comerciales, incluyendo pulpa amarilla y blanca, con sabores diferentes desde el muy dulce hasta el muy ácido (Fideghelli et al., 1999). Dentro de las nectarinas de carne amarilla destaca la variedad Big Top® estudiada en esta tesis, cuyas características se resumen en la Tabla II.3 (MARM, 2012).

Esta variedad procede de EE.UU. y tiene como obtentor Zaiger's Inc. Genetics. En los últimos años ha tenido una gran difusión en la Unión Europea por su apreciación por el consumidor respecto a su calibre, color, calidad gustativa (sabor dulce) y consistencia. Esta variedad es la más cultivada en España (Carbó e Iglesias, 2002), pero presenta muy mala adaptación en algunas zonas de cultivo con baja productividad (baja densidad floral), frutos de forma irregular y gran cantidad de frutos dobles o triples y frutos con huesos abiertos.

Tabla II.3. Características morfológicas, época de cosecha y calidad del fruto de la variedad nectarina Big Top®.

Árbol	
Vigor	Medio a Alto
Porte	Semi-erecto
Época de floración	Semi-precoz
Floribundidad y necesidad de aclareo	Floribundidad baja y requerimientos de aclareo de medios a bajos, según situación de la parcela
Hábito de fructificación	Sobre ramas mixtas de tamaño medio y sobre madera vieja. Requiere poda
Fruto	
Color	Coloración roja intensa, recubriendo el 90-100% de la superficie del fruto. Lenticelas pequeñas o poco marcadas
Calibre	Medio (70-75 mm), homogéneo
Forma	Oval-esférica y regular con sutura poco marcada y cavidad peduncular poco profunda.
Cosecha	
Periodo de recolección medio	Finales de junio-primera semana de julio
Agrupamiento de la cosecha	Maduración poco agrupada, requiere 2 ó 3 pases de recolección
Calidad	
Contenido en azúcares	Medio (13-14 Brix)
Contenido en ácidos	Medio – Bajo (3-5 g/L ácido málico)
Aromas	Medio
Calidad gustativa	Semidulce

II.2.4. Tolerancia de los frutales a la salinidad

Muchos árboles frutales son sensibles a la salinidad debido tanto a un efecto osmótico global como a la absorción de ciertos iones (sodio y cloruro) a niveles tóxicos (Royo y Aragüés, 1989; West, 1978; West y Taylor, 1984). Los frutales de hueso se clasifican como sensibles a salinidad (Boland et al., 1997) y particularmente a los cloruros (Bernstein, 1980), aunque su tolerancia relativa puede estar influenciada por factores como el clima, la fertilización, el tipo de suelo, el método de riego, y otros (Maas, 1993). Ayers y Westcot (1985) indican que la CE_e (CE del extracto saturado del suelo) umbral de los frutales de hueso es de 1.7 dS/m, y Maas (1990) proporciona unas CE_e umbral de 1.7 y 1.5 dS/m para melocotonero y ciruelo, respectivamente. Melgarejo (2000) indica que la tolerancia de estas dos especies en función del contenido en NaCl en el extracto saturado del suelo es de 0.5 g l⁻¹.

La salinidad actúa sobre las plantas a través de mecanismos específicos y no específicos. El efecto no específico se debe a la disminución del potencial osmótico de la solución del suelo que reduce la transpiración y la fotosíntesis (Shannon y Grieve, 1999). Este efecto osmótico es directamente proporcional al descenso del potencial osmótico de la solución del suelo, el cual es proporcional al aumento de la CE. Los efectos específicos están relacionados con la absorción iónica y la alteración de los procesos fisiológicos derivados de la toxicidad, la deficiencia nutricional, o cambios en el equilibrio mineral (Shannon y Grieve, 1999; Hasegawa et al., 2000).

En los árboles frutales, el efecto osmótico contribuye a la reducción de la tasa de crecimiento, cambios en el color de las hojas, y cambios en las características de desarrollo, como en la relación raíz/parte aérea y tasa de madurez. Los efectos iónicos se manifiestan más en daños en las hojas y meristemos, o como síntomas típicos de desorden nutricional (Shannon y Grieve, 1999). Grattan y Grieve (1999) añaden que la absorción, transporte y aprovechamiento de los nutrientes minerales en ambientes no salinos pueden verse afectados en ambientes salinos. Así, elevadas concentraciones de Na^+ y Cl^- en la solución del suelo pueden producir desequilibrios en otras relaciones iónicas tales como $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$, Na^+/K^+ , $\text{Mg}^{++}/\text{Ca}^{++}$ y $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$ e inducir toxicidades iónicas específicas que pueden reducir la cantidad y la calidad de la producción de fruta.

Hayward et al. (1946) y Bernstein et al. (1956) en frutales de hueso, y Pearson et al. (1957) en cítricos, observaron que un aumento en la salinidad del sustrato condujo a un aumento en la concentración de Cl^- en hojas con síntomas de daño foliar. Boland et al. (1996) encontraron en melocotonero regado con aguas de CE de 2 dS/m, una correlación positiva entre el contenido de Cl^- en hojas y frutos mientras que no hubo una relación significativa en el caso de Na^+ . Además, la medida de la relación Na^+/Cl^- en distintos tejidos indicó un transporte limitado de Na^+ hacia las hojas de tal manera que la cantidad de este elemento fue prácticamente la mitad que la de Cl^- .

Boland et al. (1997) confirmaron los resultados de Boland et al. (1996) ya que encontraron que en melocotonero regado con aguas de CE de 1.15 dS/m, el Cl^- se mueve rápidamente hacia las hojas, en tanto que el Na^+ se acumula preferentemente en el tronco. Así, el 50% del Cl^- absorbido se acumuló en las hojas, el 15% en los frutos y el 20% en las raíces, en contraste con valores para el Na^+ del 75% en el tronco, 10% en las raíces, 4% en los frutos y prácticamente nulo en las hojas (todos los porcentajes referidos a peso seco). Estos resultados son similares a los de Marschner (1986) en melocotonero cultivado en condiciones salinas donde la mayoría del cloruro absorbido fue transportado hacia las hojas y frutos, pero el sodio fue excluido de las hojas.

La acumulación diferencial de Na^+ y Cl^- en hojas ha sido asimismo observada por Ziska et al. (1991) en ciruelo sujeto a una solución de NaCl con una concentración 28 mM. El Na^+ se acumuló en primer lugar en los tejidos leñosos, mientras que el Cl^- se acumuló rápidamente en las hojas. Esta distribución preferencial del Na^+ en los cultivos leñosos es una característica que permite la exclusión del Na^+ de las hojas. La Tabla II.4 resume las concentraciones de Na^+ y Cl^- a las que existe o no daño foliar.

Tabla II.4. Concentraciones foliares de Cl^- y Na^+ (mmol Kg^{-1} de peso seco) según la presencia (+), ausencia (-) o presencia/ausencia (+/-) de daños foliares (Ziska et al. 1991).

Daño	Cl^-	Na^+
(-)	84.6 ± 14.3	4.3 ± 0.4
(+)	516.2 ± 53.6	82.6 ± 24.1
(+/-)	290.5 ± 55.4	8.7 ± 2.1

La transformación de estas concentraciones a valores de % de peso seco indica que los valores (+/- en la Tabla II.4) a los que se observa un principio de daño foliar son 1.0% en Cl^- y 0.2% en Na^+ . La absorción de sales del suelo depende en gran medida del patrón utilizado, razón por la cual es importante identificar aquellos con mayor exclusión radical de sales al objeto de ser utilizados en ambientes salinos (Grattan y Grieve, 1999).

EFFECTOS DEL ACOLCHADO SOBRE LA EVAPORACIÓN DEL SUELO

CAPÍTULO III. EFECTOS DEL ACOLCHADO SOBRE LA EVAPORACIÓN DEL SUELO

III.1. Ensayo preliminar. Evaporación del suelo con distintos acolchados en condiciones de laboratorio

III.1.1. Introducción y objetivos

La evaporación del suelo es el proceso de pérdida de agua en forma de vapor desde la superficie del suelo inducido por el déficit de presión atmosférica. Cuando se aplica un acolchado sobre la superficie del suelo dicho déficit disminuye y se produce una reducción de la evaporación ya que se crea una barrera que dificulta el flujo de vapor de agua a la atmósfera. La eficiencia del acolchado en la reducción de la evaporación depende de las características del material utilizado (grosor, porosidad, color, capilaridad, etc.).

El objetivo de este ensayo preliminar efectuado en condiciones de laboratorio es cuantificar la eficiencia de distintos acolchados en la reducción de la evaporación de un suelo húmedo.

III.1.2. Material y métodos

Este ensayo preliminar consistió en medir la evaporación de un suelo húmedo colocado en pequeñas bandejas descubiertas (control de suelo desnudo) o cubiertas con distintos tipos de acolchado. El ensayo se efectuó en un laboratorio sujeto a una temperatura constante de 28°C. Las bandejas eran de material plástico, rectangulares y con dimensiones de 29 cm de largo, 19 cm de ancho y 5 cm de altura (volumen de 2755 cm³). Las bandejas se rellenaron con 1000 g de un suelo de textura franca de la finca experimental del CITA. La humedad volumétrica del suelo era de alrededor del 20%. A este suelo se le añadieron 350 cm³ de agua, por lo que el ensayo se inició con una humedad del suelo próxima a saturación.

Los materiales de acolchado se colocaron directamente sobre el suelo (Figura III.1). En total se analizaron seis tratamientos con tres repeticiones:

- 1- Control (suelo desnudo con la bandeja descubierta)
- 2- Plástico de polietileno negro con un espesor de 400 galgas
- 3- Geotextil "ponpun viscosa yute-6.5 (Bontrech, Zaragoza)" de fibras de yute agujadas sobre un TNT de viscosa con una densidad de 650 g m⁻²
- 4- Paja de trigo troceada con un espesor de unos 3 cm
- 5- Residuos de madera de poda de viña con un espesor de unos 3 cm
- 6- Corteza de pino de un diámetro medio de 4.5 cm con un espesor de unos 3 cm.

Las bandejas se pesaron en una balanza con precisión de 0.1 g en la fecha de inicio del ensayo y diariamente a partir del tercer día. La pérdida de agua por evaporación se determinó por diferencia en el peso de las bandejas. El total de bandejas utilizadas fue de 18 (6 tratamientos x 3 repeticiones) que se fueron cambiando diariamente de posición de forma aleatoria. Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza y comparación de medias mediante el programa estadístico Statgraphics plus versión 5.0.



Figura III.1. Fotografía del ensayo preliminar de medida de la evaporación del suelo desnudo y sujeto a cinco acolchados en condiciones de laboratorio.

III.1.3. Resultados y discusión

La evolución de la evaporación media acumulada del suelo sujeto a los cinco tratamientos de acolchado muestra que todos ellos reducen en mayor o menor medida la evaporación con respecto a la del suelo desnudo en los primeros cinco días del ensayo (Figura III.2.).

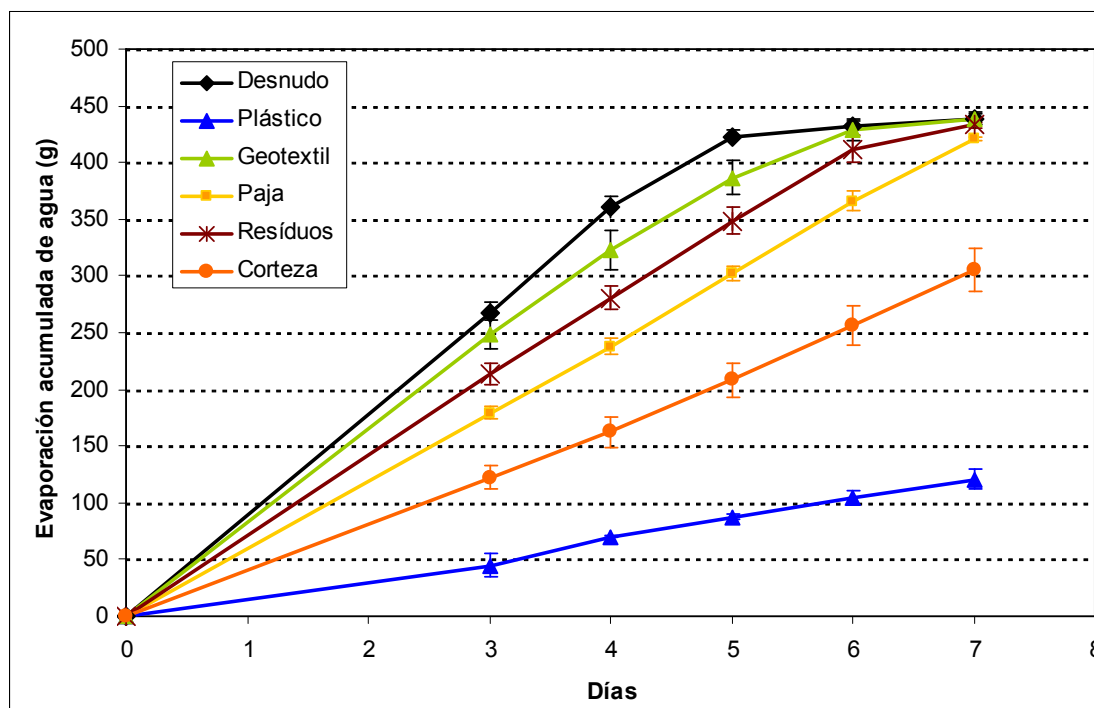


Figura III.2. Evolución temporal de la evaporación media acumulada de un suelo húmedo desnudo y sujeto a cinco tratamientos de acolchado. Los segmentos verticales representan \pm una desviación estándar de la media.

En la Figura III.2 se observan dos fases: una primera (día 0 a día 5) en la que la evaporación acumulada tiene una tendencia lineal en los seis tratamientos, y una segunda (días 5 a 7) en la que la evaporación acumulada deja de ser lineal y tiende a ser asintótica con el eje X en los tres tratamientos con mayor evaporación (suelo desnudo y suelo acolchado con geotextil y residuos de poda de viña). Obviamente, estos descensos en la tasa de evaporación obedecen a un menor contenido de agua del suelo derivado de la mayor evaporación

acumulada en estos tres tratamientos. El resultado final es que la evaporación acumulada al final del ensayo (día 7) fue alta y similar en el suelo desnudo y en los acolchados con geotextil, residuo de poda de viña y paja, intermedia en el acolchado con corteza de pino y baja (aunque no despreciable) en el acolchado con plástico.

El análisis de comparación de medias de la evaporación acumulada en las distintas fechas de medida, expresada como tasa de evaporación media diaria en cada período, indica diferencias significativas entre todos los tratamientos para los períodos comprendidos entre el inicio del ensayo (día 0) y los días 3, 4 y 5 (Tabla III.1). Asimismo, esta tabla indica que la tasa de evaporación hasta el día 5 fue similar dentro de cada tratamiento, mientras que hasta los días 6 y 7 se mantuvo constante en los tres tratamientos con menor evaporación acumulada (plástico, corteza de pino y paja) pero descendió en los tres tratamientos con mayor evaporación acumulada (residuos de poda de viña, geotextil de yute y suelo desnudo), llegando a ser idéntica en estos tres tratamientos (1.1 mm día^{-1}) para el período acumulado de 0 a 7 días.

Tabla III.1. Evaporación media del suelo desnudo y sujeto a cinco tratamientos de acolchado en los distintos períodos del ensayo. Dentro de cada período, los valores con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0.05$) entre tratamientos.

	Evaporación media diaria del suelo (mm día^{-1})				
	Período (día inicial – día final)				
	0 – 3	0 – 4	0 – 5	0 – 6	0 – 7
Plástico negro	0.3a	0.3a	0.3a	0.3a	0.3a
Corteza de pino	0.8b	0.7b	0.8b	0.8b	0.8b
Paja de trigo	1.1c	1.1c	1.1c	1.1c	1.1c
Residuos poda viña	1.3d	1.3d	1.3d	1.2d	1.1d
Geotextil de yute	1.5e	1.5e	1.4e	1.3de	1.1d
Suelo desnudo	1.6f	1.6f	1.5f	1.3e	1.1d

Para eliminar el efecto de la distinta humedad del suelo en la comparación de las tasas de evaporación medidas en los distintos tratamientos, se han considerado únicamente los resultados obtenidos hasta el día 5 del ensayo. Para este período de cinco días, el orden de eficiencia de los cinco acolchados para reducir la tasa de evaporación fue:

Plástico > Corteza pino > Paja trigo > Residuo poda viña > Geotextil

Así, en relación al suelo desnudo que alcanzó una evaporación máxima diaria de 1.5 mm día^{-1} , el porcentaje de reducción de la evaporación fue del 80% con plástico, 47% con corteza de pino, 27% con paja de trigo, 13% con residuo de poda de viña y 7% con geotextil. El acolchado plástico fue el más eficiente en términos de reducción de la evaporación y conservación de agua en el suelo, resultado esperable debido a la impermeabilidad del plástico que impide o limita el flujo de vapor de agua entre el suelo y el aire situado sobre su superficie. Sin embargo, el plástico no llegó a eliminar completamente la evaporación del suelo en este ensayo debido probablemente a que la bandeja no estuvo herméticamente tapada. El siguiente acolchado más eficiente en reducir la evaporación fue la corteza de pino (reducción del 47% respecto a la evaporación del suelo desnudo). Por el contrario, la eficiencia del resto de acolchados fue baja (paja de trigo) o muy baja (residuo de poda de viña y, en particular, geotextil). Cabe pensar que los poros del geotextil en contacto directo con el suelo húmedo absorbieron agua y facilitaron su posterior evaporación.

Ji y Unger (2001) encontraron en condiciones de laboratorio resultados similares a los de nuestro ensayo, con una mayor tasa de evaporación en el suelo desnudo que en el

acolchado de paja de trigo durante los primeros días del ensayo y con tasas de evaporación similares o ligeramente mayores con el acolchado de paja después de transcurridos 8 días de ensayo. Unger y Parker (1976) encontraron en condiciones de laboratorio que la aplicación de 800 g m^{-2} de residuos de paja de trigo redujo la tasa de evaporación del suelo en los 15 primeros días en comparación con el suelo desnudo. Sin embargo, a partir del día 35, la evaporación de ambos tratamientos fue similar. Estos autores también compararon el efecto de diferentes tipos de acolchado (paja de trigo, residuos de sorgo y algodón), encontrando que el espesor del material usado fue el factor más determinante para la reducción de la evaporación del suelo. Bond y Willis (1969) mostraron asimismo en condiciones de laboratorio que los residuos de plantas utilizados como acolchado redujeron de una manera significativa la evaporación del suelo en comparación con la del suelo desnudo.

III.2. Ensayo de campo. Evaporación del suelo con distintos acolchados en condiciones de campo

III.2.1. Introducción y objetivos

La mayoría de los trabajos realizados con acolchados se realizan en parcelas agrícolas con distintos cultivos, por lo que resulta difícil separar los efectos de evaporación del suelo y transpiración del cultivo. Por esta razón, los ensayos que se presentan en este capítulo se han realizado en parcelas de suelo con riego por goteo y sin presencia de cultivo con el objeto de establecer una correspondencia unívoca entre los distintos acolchados del suelo y su evaporación.

El objetivo del presente trabajo es comparar en condiciones de campo sin cultivo la eficiencia relativa respecto al suelo desnudo de la reducción de la evaporación y conservación de la humedad del suelo de los mismos materiales de acolchado utilizados en el ensayo preliminar (Capítulo III.1).

III.2.2. Material y métodos

El ensayo se realizó en el año 2011 en una parcela situada en la finca experimental del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA) situada en Montañana, Zaragoza, España ($41^{\circ}43' \text{ N}$, $0^{\circ}48' \text{ W}$, 225 m de altitud).

La determinación de la evaporación se siguió en tres ciclos de riego: 27/07/2011 a 01/08/2011, 08/08/2011 a 23/08/2011 y 26/08/2011 a 12/09/2011.

III.2.2.1. Tipo de suelo

El suelo es un *Xerofluvents* con una textura areno-limosa calcárea méstica (Soil Survey Staff, 1999). El valor medio de la humedad gravimétrica del suelo a capacidad de campo en el perfil 0-10 cm es de 24.3% y el punto de marchitez de 9.2%. La densidad aparente del suelo es de 1.4 g cm^{-3} .

III.2.2.2. Condiciones climáticas

La Figura III.3a muestra la evolución diaria de la temperatura media del aire y de la precipitación y la Figura III.3b presenta la evolución diaria de la velocidad media del viento y del porcentaje de humedad relativa media durante la duración del ensayo. Los datos meteorológicos se obtuvieron de la estación meteorológica de la red SIAR ubicada en la propia finca experimental del CITA. En la figura se han señalado los periodos de medida de la evaporación en los tres riegos efectuados en el ensayo.

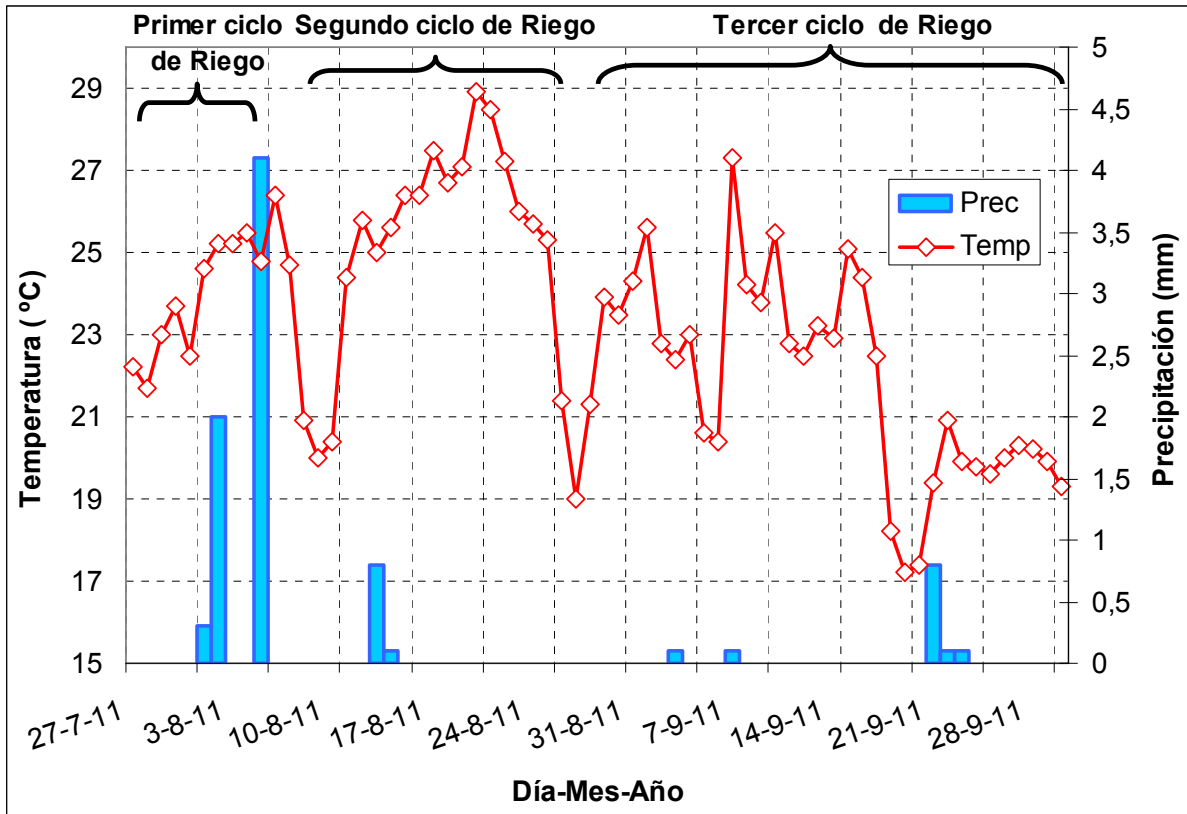


Figura III.3a. Evolución diaria de la temperatura media del aire (Temp) y de la precipitación (Prec) medidos en la estación meteorológica de la red SIAR ubicada en Montañana (Zaragoza) durante el ensayo de evaporación en campo.

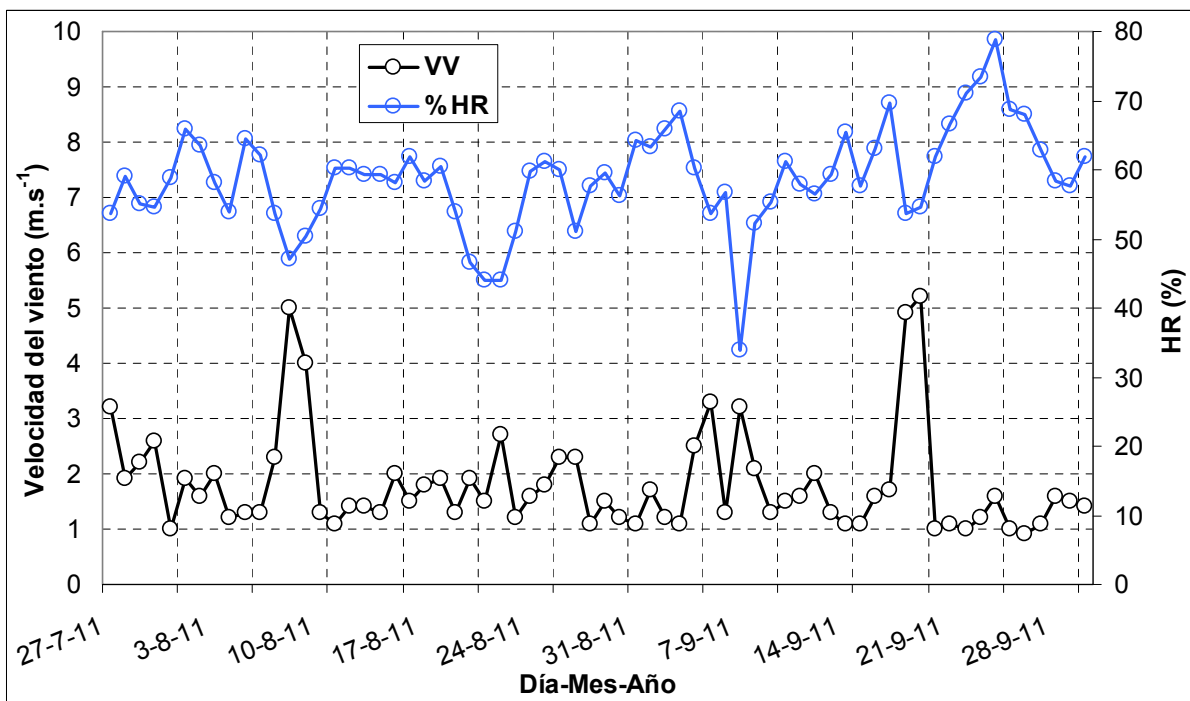


Figura III. 3b. Evolución diaria de la velocidad media del viento (VV) y del porcentaje de la humedad relativa media (HR) medidos en la estación meteorológica de la red SIAR ubicada en Montañana (Zaragoza) durante el ensayo de evaporación en campo.

III.2.2.3. Diseño experimental

El diseño experimental fue de bloques al azar con 4 bloques y 6 tratamientos de acolchado. La parcela experimental tiene una superficie de $11.7\text{m} \times 9.1\text{m} = 106.5\text{ m}^2$. En dicha parcela se establecieron 24 miniparcels de $1.2 \times 1.2\text{ m}$ distribuidas en cuatro bloques (repeticiones) en los que se sortearon los 6 tratamientos de acolchado. Se establecieron unos pasillos de 1.5 m entre bloques y 0.9 m entre parcelas dentro de cada bloque (Figuras III.4 y III.5). En los tres pasillos centrales se colocaron unos palés de madera para facilitar el tránsito y acceso a las miniparcels. A lo largo de la duración del ensayo se aplicaron tratamientos herbicidas para evitar la proliferación de malas hierbas.

En el esquema de la Figura III.4 se presenta la disposición de las miniparcels en cada uno de los cuatro bloques del ensayo en los que se sortearon los siguientes tratamientos:

1. Control (suelo desnudo)
2. Plástico negro con un espesor de 400 galgas.
3. Geotextil PONPUN VISCOSA YUTE-6.5 de fibras de yute agujadas sobre un TNT de viscosa con una densidad de 650 g m^{-2} (BONTRECH, Zaragoza, España).
4. Paja de trigo troceada con un espesor de 3-4 cm.
5. Residuos de poda de frutales con un espesor de 3-4 cm.
6. Corteza de pino de 4.5 cm de diámetro medio con un espesor de 3-4 cm.

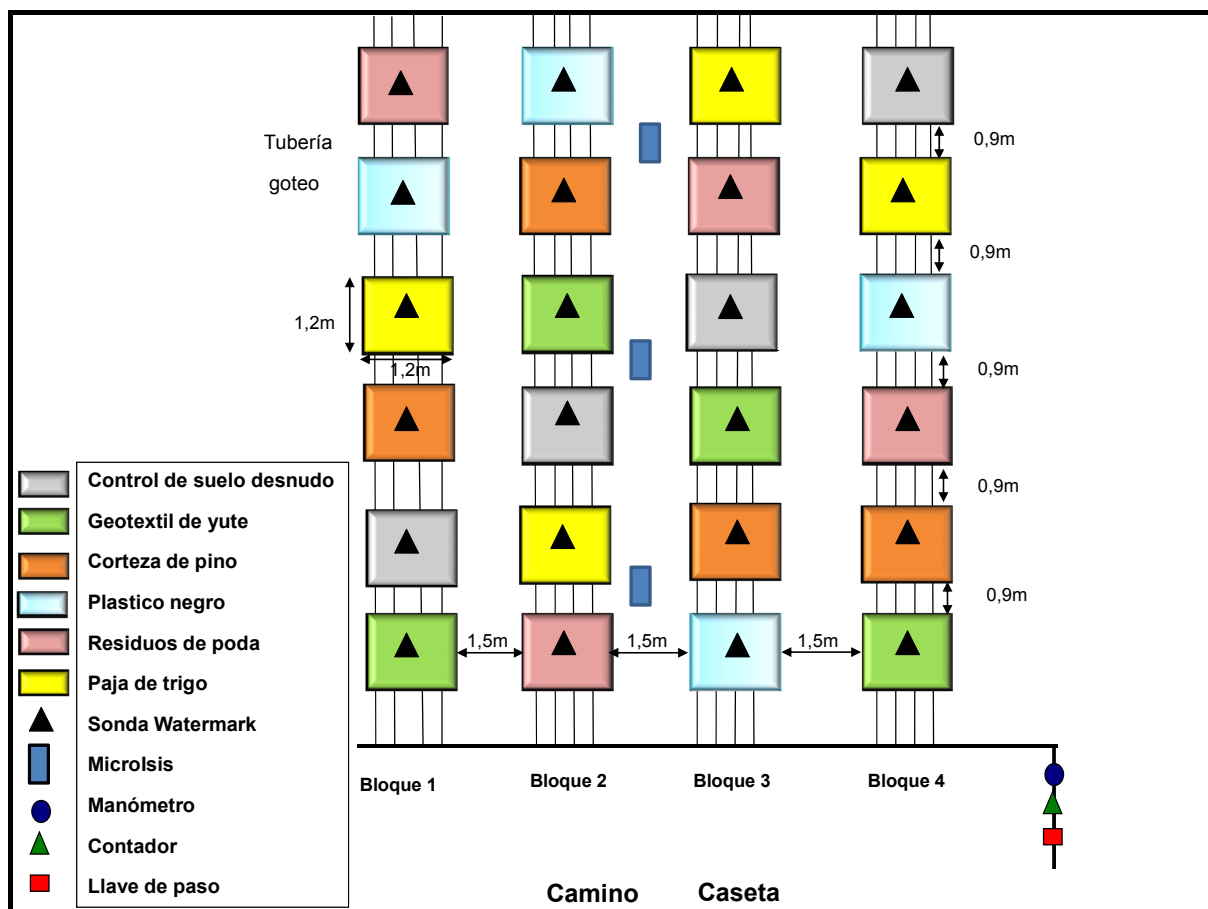


Figura III.4. Esquema experimental del ensayo de evaporación en campo con la situación de los bloques, tratamientos de acolchado, localización de las sondas Watermark®, datalogger Microlisis y equipo de riego localizado.



Figura III.5. Vista general del ensayo de evaporación en campo. En el pasillo central se observan los tres soportes con placa solar de los datalogger Microlisis.

III.2.2.4. Sistema de riego

La Figura III.4 presenta el esquema general de riego localizado instalado en el ensayo. La parcela está provista de una tubería de agua a presión y de un sistema de riego localizado con cuatro líneas portagoteros por miniparcela separadas a 0.30 m y con goteros integrados en la tubería de 2.2 L/hora a equidistancias de 0.33 m.

El cabezal de riego dispone de una llave de paso y un contador volumétrico para medir el volumen de agua aplicado en los riegos. Cada miniparcela se riega con 16 goteros (Figura III.6). Con esta alta densidad de goteros se consigue un riego homogéneo y con una alta tasa de aplicación de riego ($35.2 \text{ L m}^{-2} \text{ hora}^{-1}$).

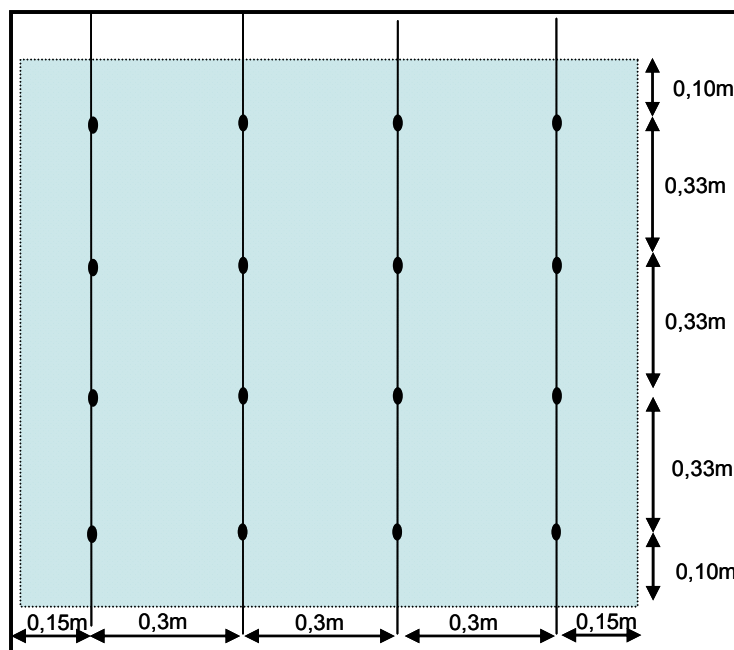


Figura III.6. Esquema de la situación de los 16 goteros en cada una de las miniparcels de 1.2 m x 1.2 m del ensayo de evaporación en campo.

El sistema de riego localizado aplicó la misma cantidad de agua en todas las miniparcelas. En el ensayo se aplicaron tres riegos. El primer riego se aplicó el 27 de julio de 2011 con una dosis de 98.5 mm. El segundo riego se aplicó el 8 de agosto de 2011 con una dosis de 75.9 mm y el tercer riego se aplicó el 26 de agosto de 2011 con una dosis de 33.0 mm (Tabla III.2).

Tabla III.2. Fechas de aplicación de los riegos, dosis aplicadas (mm) y fechas de muestreos del suelo en las miniparcelas del ensayo de evaporación de los acolchados.

Riego n°	Fecha inicial del riego	Dosis de riego aplicada (mm)	Fechas de los muestreos de suelo		
			Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3
1	27/07/2011	98.5	28/07/2011	01/08/2011	05/08/2011
2	08/08/2011	75.9	09/08/2011	16/08/2011	23/08/2011
3	26/08/2011	33.0	29/08/2011	06/09/2011	12/09/2011

III.2.2.5. Estado hídrico del suelo

Para estimar el estado hídrico del suelo durante los tres ciclos de riego estudiados se utilizaron dos tipos de medidas: el potencial matricial de agua en el suelo y la humedad gravimétrica del suelo.

- **Potencial matricial del suelo**

El potencial matricial del suelo (Ψ_m) se midió con sondas Watermark® (Irrometer Company, Inc, Copersa, Barcelona, España). El principio físico de estas sondas es que el Ψ_m se puede determinar indirectamente mediante la medida de la resistencia al paso de una corriente eléctrica entre dos electrodos en contacto con el suelo. Conforme mayor es la humedad del suelo, menor es la resistencia eléctrica. En la sonda Watermark los dos electrodos son concéntricos y están embebidos en una matriz granular de un material inerte que minimiza en parte el efecto de la salinidad del suelo en las medidas de resistencia (Larson, 1985). La sonda Watermark® proporciona directamente el Ψ_m en kPa (cbar) en un rango de 0 a 120 KPa.

Las principales ventajas de las sondas Watermark® son su simplicidad, economía, escaso mantenimiento y facilidad para almacenar las lecturas de una manera continua y automatizada en un datalogger. Como limitaciones se puede citar el limitado rango de medida, el efecto de la salinidad del suelo en las lecturas y que en suelos muy ligeros, donde el agua drena muy rápidamente, puede que no haya tiempo suficiente para que la sonda llegue a equilibrarse (Charlesworth, 2000).

En el ensayo de evaporación en campo se instaló una sonda Watermark® en el centro de cada miniparcela insertada verticalmente en el suelo de forma que el punto central de la sonda quedó a 5 cm de profundidad con el objetivo de medir el Ψ_m del suelo superficial (Figura III.7). Las sondas se conectaron a un datalogger Microlsis (Sistemas Electronics PROGRÉS, S.A., Bellpuig, Lleida, España). En total se utilizaron 24 sondas y 3 datalogger con batería y placa solar con sus soportes (Figura III.4). A cada uno de los tres datalogger Microlsis se conectaron las 8 sondas Watermark® situadas a derecha e izquierda del Microlsis (4 sondas en la parte superior del Microlsis y 4 sondas en la parte inferior). Los datalogger Microlsis recogieron los datos horarios de Ψ_m a 5 cm de profundidad en las 24 miniparcelas del ensayo durante toda la duración del ensayo.

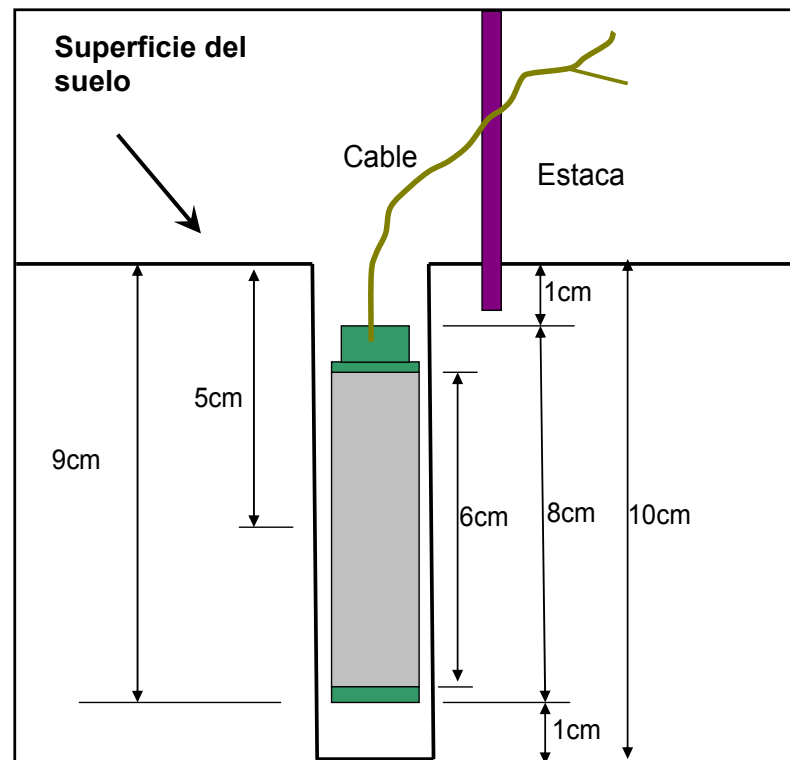


Figura III.7. Detalle de instalación de una sonda Watermark® en cada una de las miniparcelas de 1.2 m x 1.2 m de superficie del ensayo de evaporación en campo.

- **Humedad gravimétrica del suelo**

En cada miniparcela y ciclo de riego se efectuaron tres muestreos de suelo a las profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm con una barrena de 2 cm de diámetro. La Tabla III.2 muestra las fechas de los tres ciclos de riego, las dosis aplicadas y las fechas de muestreo de suelo. Las muestras a cada profundidad son la suma de las recogidas en tres puntos situados entre las líneas de goteo. Los tres muestreos se efectuaron en tres zonas colindantes perpendiculares a las líneas de goteo (Figura III.8). En cada una de las muestras se midió la humedad gravimétrica del suelo.

El muestreo 1 se efectuó después de cada riego una vez que se equilibró el Ψ_m del suelo. A tal fin, se observó la evolución de las lecturas horarias de Ψ_m en el tratamiento de acolchado de plástico en los días siguientes a la fecha de riego. Cuando dichas lecturas se estabilizaron y se mantuvieron constantes, se consideró que el movimiento descendente de agua en el suelo era prácticamente nulo y que la humedad se encontraba en el entorno de capacidad de campo (24%), ya que en el acolchado plástico la evaporación es despreciable. Por consiguiente, los cambios de humedad del suelo medidos en los muestreos 2 y 3 de cada tratamiento se atribuyeron exclusivamente a evaporación. Después del muestreo 2 se dejaron transcurrir unos días hasta que el Ψ_m alcanzó un valor de en torno a -120 KPa, momento en el que se efectuó el tercer muestreo.

La Figura III.8 presenta el detalle de la ubicación de los tres muestreos de suelo efectuados en cada miniparcela y ciclo de riego. En el muestreo 3 del tercer ciclo de riego se tomaron solo dos muestras debido a que la ubicación de la posición de muestro central coincidía con la de la sonda Watermark®.

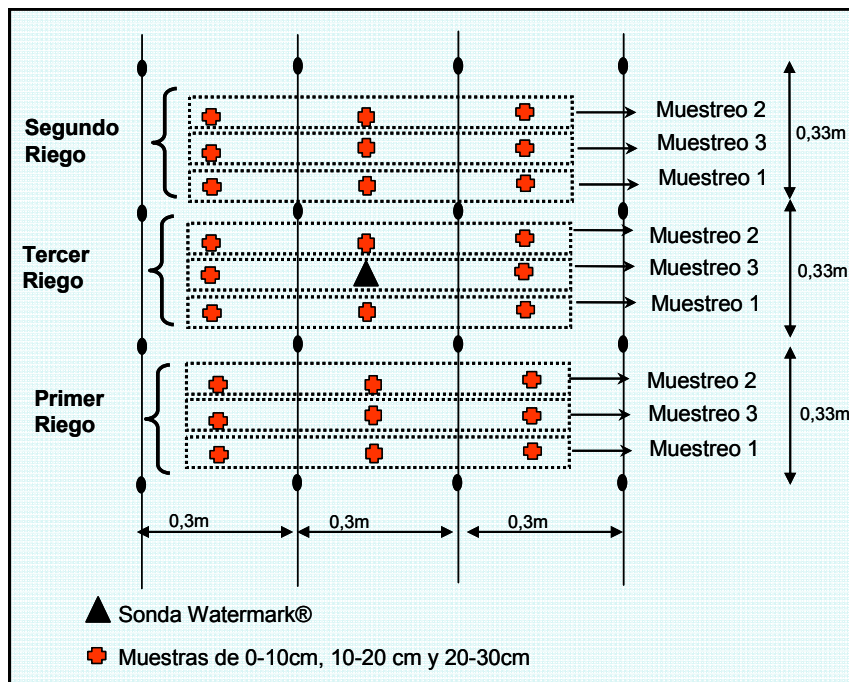


Figura III.8. Esquema de la ubicación de los puntos de muestreo del suelo efectuados en cada miniparcela de 1.2 m x 1.2 m y ciclo de riego. Se señala asimismo la ubicación de la sonda Watermark®.

III.2.2.6. Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza y comparación de medias mediante el programa estadístico Statgraphics plus versión 5.0.

III.2.3. Resultados y discusión

III.2.3.1. Potencial matricial del suelo

La Figura III.9 presenta la evolución temporal del Ψ_m a 5 cm de profundidad en el suelo desnudo y en los cinco tratamientos de acolchado, las dosis de riego aplicadas en los tres ciclos de riego y la precipitación medida durante la realización del ensayo desde el 23 de julio hasta el 30 de septiembre de 2011. El Ψ_m aumentó (descenso del valor absoluto de la lectura de las sondas) en las fechas de riego para descender posteriormente de forma paulatina debido a la pérdida de agua por evaporación. El mayor descenso del Ψ_m se observó en el suelo desnudo, tratamiento en el que el Ψ_m alcanzó valores próximos a -120 KPa, y el menor en el suelo bajo plástico, tratamiento en el que el Ψ_m se mantuvo en valores superiores a -20 KPa a lo largo de todo el ensayo. El resto de tratamientos de acolchado tuvieron unos valores de Ψ_m comprendidos entre los del suelo desnudo y el suelo bajo plástico.

En esta figura se observa que las sondas Watermark® no responden de forma inmediata a los eventos de riego y lluvia debido a que los datos de Ψ_m son promedios diarios. Este hecho hace que el valor del Ψ_m en el día de aplicación de riego sea más bajo que el que se alcanza en las horas posteriores al riego. A partir de los archivos horarios se deduce que los valores del Ψ_m inmediatamente posteriores al riego alcanzaron unos valores muy altos (esto es, suelos próximos a saturación de agua) comprendidos entre -4 y -10 KPa en el primer riego, -4 y -14 KPa en el segundo riego, y -6 y -25 KPa en el tercer riego. La diferencia en los rangos de variación del Ψ_m entre riegos se debe principalmente a las distintas dosis aplicadas.

Las precipitaciones fueron muy escasas a lo largo del ensayo, pero tuvieron un efecto similar al de los riegos disminuyendo los valores del Ψ_m , en particular para la precipitación del 5 de agosto que fue la mayor medida durante el ensayo. Después de esta precipitación el Ψ_m aumentó en todos los tratamientos excepto en el acolchado plástico ya que este material es impermeable al agua.

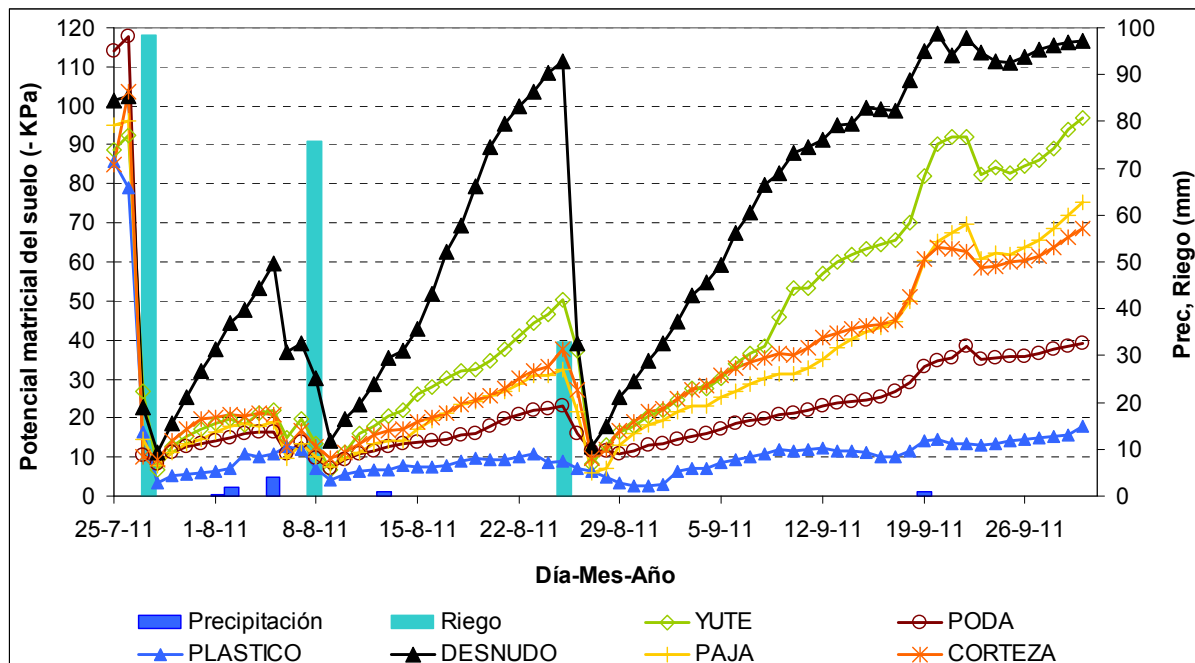


Figura III.9. Precipitación, dosis de riego aplicada en los tres ciclos de riego y evolución diaria del potencial matricial del suelo (Ψ_m) a 5 cm de profundidad en los seis tratamientos analizados. Cada punto es la media de cuatro repeticiones.

El primer ciclo de riego estudiado tuvo tan solo una duración de 9 días, desde el 27 de julio hasta el 5 de agosto, ya que en este último día se produjo una precipitación de 4.1 mm que alteró las condiciones de humedad del suelo.

La Figura III.10 presenta en detalle la evolución diaria del Ψ_m durante este primer ciclo de riego. El día 28 de julio, inicio del ensayo, los valores de Ψ_m variaron entre -3.5 KPa (acolchado plástico) y -11.3 KPa (suelo desnudo), valores que corresponden a un suelo con una humedad igual o superior a capacidad de campo. Estos valores no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$) (Tabla III.3), indicando que la humedad inicial del suelo fue similar en todos los tratamientos.

El Ψ_m del suelo desnudo disminuyó a lo largo del tiempo, alcanzando el 5 de agosto un valor de -59.6 KPa significativamente menor que el del resto de los tratamientos (Tabla III.3). El Ψ_m en los tratamientos de acolchado disminuyó solo ligeramente, alcanzando valores superiores a -20 KPa en todos ellos. Esto indica que la aplicación de una cubierta sobre la superficie del suelo reduce su evaporación y conserva la humedad del suelo. El acolchado plástico alcanzó el 5 de agosto el mayor valor de Ψ_m (-10.6 KPa), estadísticamente superior al obtenido con el geotextil (-21.9 KPa) pero no significativamente diferente a los valores obtenidos con el resto de acolchados que fueron similares entre sí (Tabla III.3).

De acuerdo a los valores finales de Ψ_m alcanzados en el primer riego, el orden decreciente de evaporación del suelo de los tratamientos analizados en el primer ciclo de riego fue:

$$\text{Suelo desnudo} > \text{Geotextil} = \text{Corteza pino} = \text{Paja trigo} = \text{Residuos poda} = \text{Plástico}$$

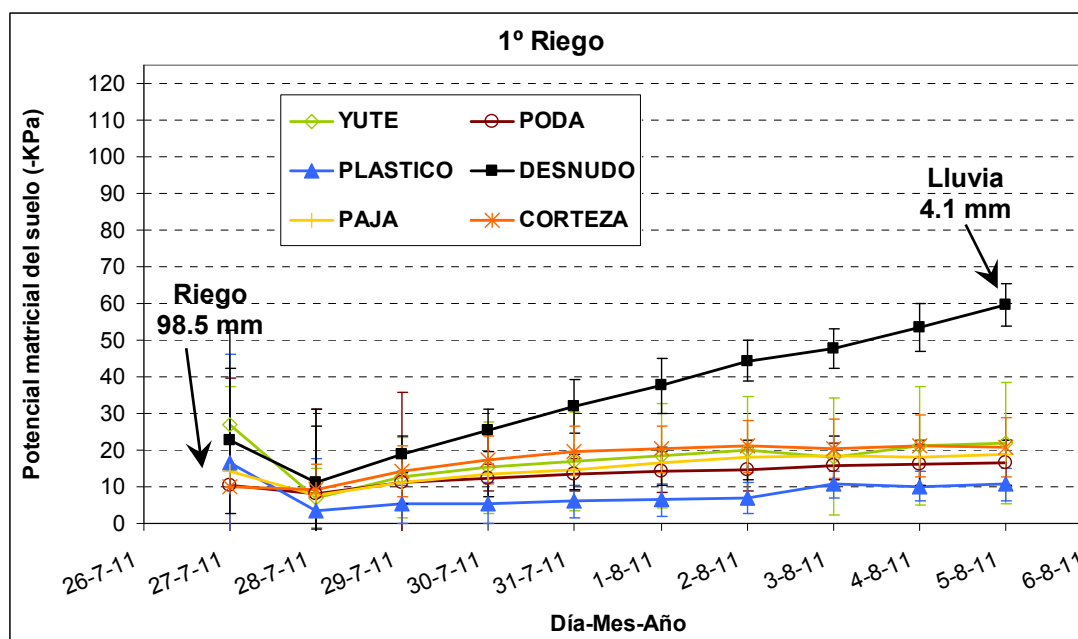


Figura III.10. Evolución diaria a lo largo del primer ciclo de riego del Ψ_m en los seis tratamientos analizados. Cada punto es la media de cuatro repeticiones. Los segmentos verticales representan ± 1 desviación estándar de la media.

Tabla III.3. Valores iniciales y finales del Ψ_m (media \pm desviación estándar) medido en los distintos tratamientos durante el primer riego. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

	Control desnudo	Geotextil de yute	Corteza de pino	Paja de trigo	Residuos de poda	Plástico negro
Ψ_m inicial (KPa)	-11.3a	-6.9a	-9.2a	-7.9a	-8.1a	-3.5a
(28 julio 2011)	± 5.0	± 3.7	± 6.8	± 5.2	± 5.9	± 3.1
Ψ_m final (KPa)	-59.6c	-21.9b	-20.9ab	-19.0ab	-16.6ab	-10.6a
(5 agosto 2011)	± 10.0	± 5.5	± 7.8	± 4.2	± 9.3	± 4.2

El segundo ciclo de riego, sin eventos relevantes de precipitación, tuvo una duración de 18 días, desde el 8 hasta el 25 de agosto de 2011 (Figura III.11). El día 8 de agosto, inicio del ensayo, los valores de Ψ_m variaron entre -4.2 KPa (acolchado plástico) y -14.0 KPa (suelo desnudo). Estos valores no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$) (Tabla III.4), indicando que la humedad inicial del suelo fue similar en todos los tratamientos.

El Ψ_m del suelo desnudo disminuyó a lo largo del tiempo, alcanzando el 25 de agosto un valor de -111.3 KPa significativamente menor que el del resto de los tratamientos (Tabla III.4). El Ψ_m disminuyó asimismo en todos los tratamientos excepto en el acolchado plástico donde la disminución fue muy pequeña. De acuerdo a los valores finales de Ψ_m en el segundo riego, el orden decreciente de evaporación del suelo de los tratamientos analizados en el segundo ciclo de riego fue:

Suelo desnudo > Geotextil = Corteza pino \geq Paja trigo \geq Residuos poda = Plástico

Este orden decreciente fue idéntico al obtenido en el primer ciclo de riego, pero las diferencias estadísticas entre ellos no fueron coincidentes (Tabla III.4). Así, el Ψ_m del geotextil fue estadísticamente similar al de la corteza de pino y diferente al del resto de acolchados. Es decir, la evaporación del suelo acolchado con geotextil fue mayor que la del suelo acolchado con paja, residuos de poda y plástico. El acolchado plástico fue el que más redujo la evaporación, de tal manera que su Ψ_m fue significativamente mayor que el resto de

tratamientos excepto el de residuos de poda (Tabla III.4). En definitiva, la prevención de la evaporación de los distintos tratamientos fue cualitativamente similar en el primer y segundo ciclo de riego, pero estadísticamente hubo diferencias entre los ciclos de riego analizados.

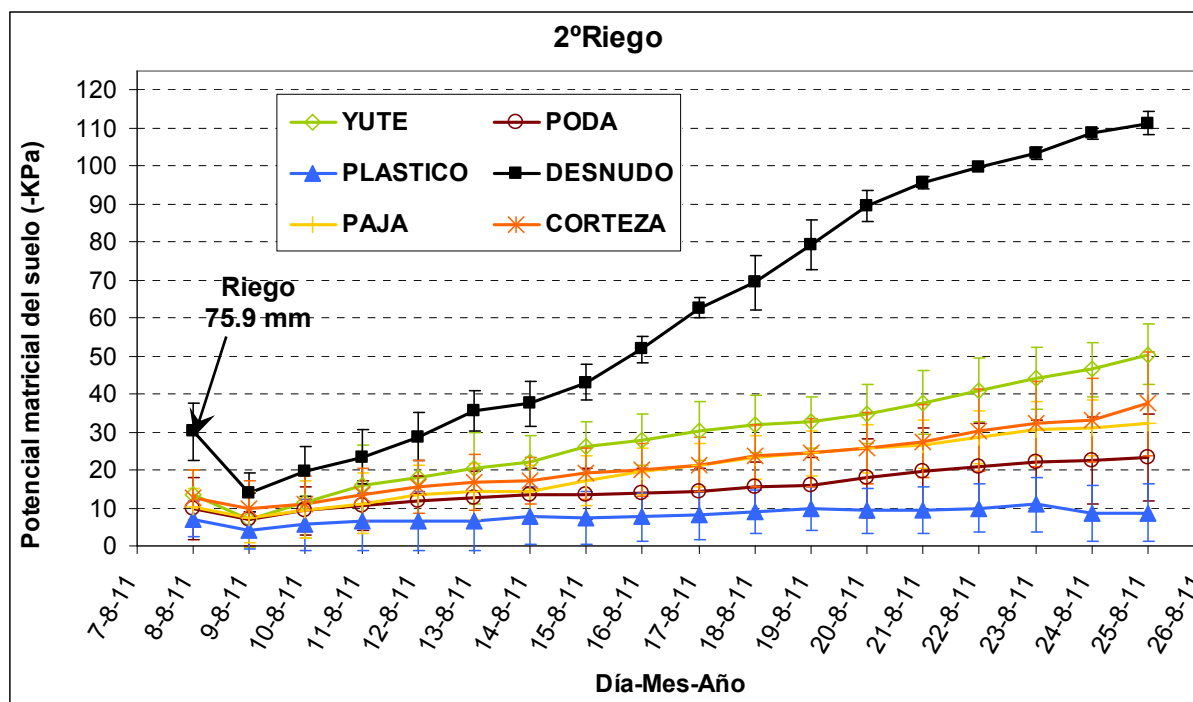


Figura III.11. Evolución diaria a lo largo del segundo ciclo de riego del Ψ_m en los seis tratamientos analizados. Cada punto es la media de cuatro repeticiones. Los segmentos verticales representan ± 1 desviación estándar de la media.

Tabla III.4. Valores iniciales y finales del Ψ_m (media \pm desviación estándar) medido en los distintos tratamientos durante el segundo riego. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

	Control Desnudo	Geotextil de yute	Corteza de pino	Paja de trigo	Residuos de poda	Plástico negro
Ψ_m inicial (KPa) (9 Agosto 2011)	-14.0a ± 5.1	-6.9a ± 7.1	-9.7 a ± 7.4	-7.4a ± 5.0	-7.0a ± 7.1	-4.2a ± 4.5
Ψ_m final (KPa) (25 Agosto 2011)	-111.3e ± 3.1	-50.4d ± 7.9	-37.5cd ± 13.7	-32.4bc ± 7.5	-23.3ab ± 11.5	-8.8a ± 5.2

El tercer ciclo de riego tuvo una duración de 35 días, desde el 27 de agosto al 30 de septiembre (Figura III.12). Entre el 21 y el 23 de septiembre se produjo una precipitación de 1.0 mm que aumentó ligeramente el Ψ_m en todos los tratamientos excepto el acolchado plástico. Dada la menor dosis de riego (33 mm) y el mayor tiempo de exposición a la evaporación, los valores de Ψ_m en todos los tratamientos excepto el acolchado plástico alcanzaron valores mucho más bajos que en el primer y segundo ciclo de riego. Entre el 18 y el 21 de septiembre se produjo un descenso muy acusado del Ψ_m en todos los tratamientos de acolchado excepto en el plástico que debería implicar una mayor tasa de evaporación en dicho período. Este descenso del Ψ_m fue debido a los altos valores de la velocidad del viento en los días 18 y 19 de septiembre que tuvieron unos valores medios diarios de 4.9 y 5.2 $m s^{-1}$, respectivamente (Figura III.3b). Estos fuertes vientos, que localmente se denominan “cierzo”, son frecuentes en el Valle del Ebro y se caracterizan por ser fuertes y secos y con una dirección predominante del NW. A pesar de que la temperatura del aire en este período disminuyó de forma muy relevante, el poder secante

del viento produjo un sensible descenso del Ψ_m en todos los tratamientos excepto en el plástico (Figura III.12). Por otro lado, en el tratamiento control (suelo desnudo) se aprecia una primera fase hasta el 10 de septiembre con un descenso acusado del Ψ_m (esto es, con una elevada tasa de evaporación) y una segunda fase en la que el descenso del Ψ_m es menos acusado probablemente debido a una menor tasa de evaporación derivada de la disminución de la humedad del suelo.

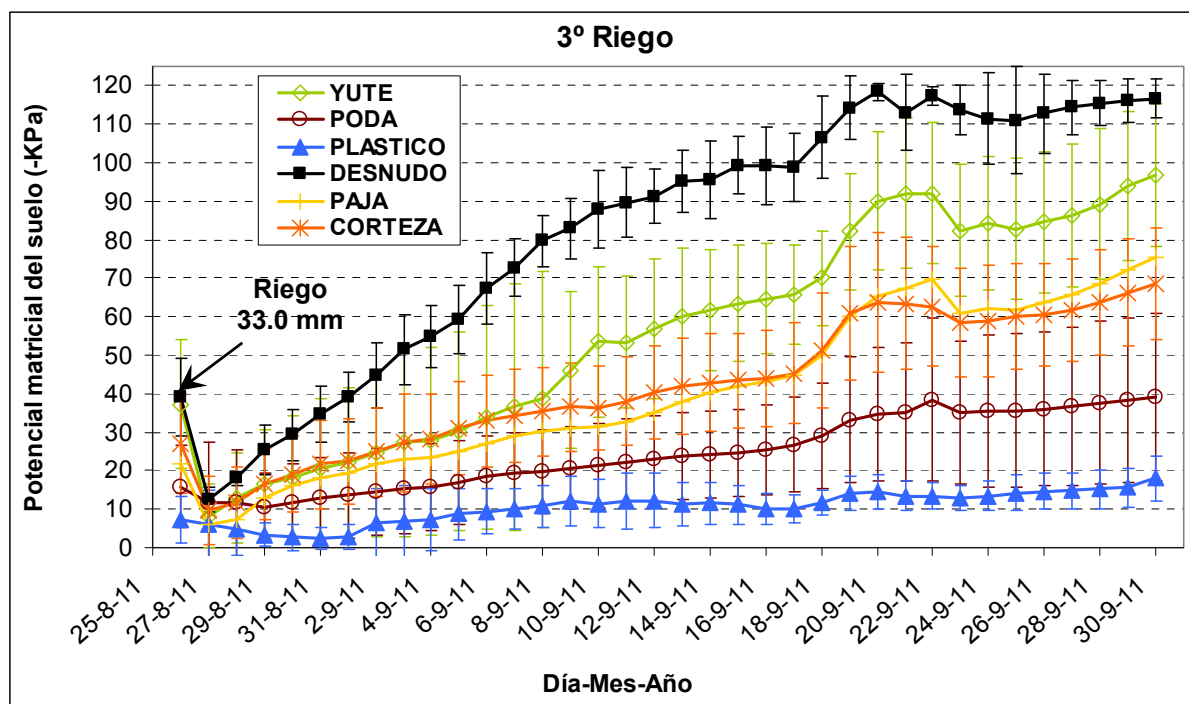


Figura III.12. Evolución diaria a lo largo del tercer ciclo de riego del Ψ_m en los seis tratamientos analizados. Cada punto es la media de cuatro repeticiones. Los segmentos verticales representan ± 1 desviación estándar de la media.

La Tabla III.5 presenta los valores del Ψ_m inicial y final del suelo durante el tercer ciclo de riego. Al igual que en el primer y segundo ciclo de riego, no hubo diferencias significativas en el Ψ_m inicial entre los distintos tratamientos, variando entre -6.2 KPa en el plástico y -12.5 KPa en el suelo desnudo. Al final del ensayo (30 de septiembre de 2011) el Ψ_m fue significativamente mayor en el plástico y los residuos de poda que en el resto de tratamientos.

Tabla III.5. Valores iniciales y finales del Ψ_m (media \pm desviación estándar) medido en los distintos tratamientos durante el tercer riego. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

	Control desnudo	Geotextil de yute	Corteza de pino	Paja de trigo	Residuos de poda	Plástico negro
Ψ_m inicial (KPa)	-12.5a	-11.0a	-9.7 a	-6.1a	-11.6a	-6.2a
(27 Agosto 2011)	± 3.3	± 8.4	± 8.7	± 8.6	± 5.9	± 8.8
Ψ_m final (KPa)	-116.7d	-95.7cd	-68.5b	-75.4bc	-39.2a	-18.0a
(30 Septiembre 2011)	± 5.0	± 18.7	± 14.7	± 13.5	± 21.7	± 5.8

De acuerdo a los valores finales de Ψ_m en el tercer riego, el orden decreciente de evaporación del suelo de los tratamientos analizados en el tercer ciclo de riego fue:

Suelo desnudo = Geotextil > Corteza pino = Paja trigo > Residuos poda = Plástico

Hay que destacar que en este ciclo de riego el tratamiento de residuos de poda tuvo una alta variabilidad entre repeticiones por lo que no fue significativamente diferente al acolchado plástico.

Síntesis del análisis del Ψ_m en los tres ciclos de riego estudiados

Considerando los resultados concordantes de los tres ciclos de riego y de acuerdo a los valores finales del Ψ_m a 5 cm de profundidad, el orden decreciente de la evaporación del suelo se mantuvo en los distintos tratamientos, aunque hubo algunas diferencias en la significación estadística entre tratamientos.

En todos los casos, el suelo desnudo tuvo el menor Ψ_m (mayor evaporación) y el suelo bajo plástico el mayor Ψ_m (menor evaporación). Es decir, el plástico negro es el acolchado más eficiente de todos los analizados para reducir la evaporación y conservar el agua del suelo. Por el contrario, el suelo acolchado con geotextil tuvo el menor Ψ_m de todos los acolchados analizados, llegando a ser similar al del suelo desnudo en el tercer ciclo de riego de mayor duración. Aparentemente, el geotextil en contacto directo con el suelo húmedo absorbe el agua del suelo y la evapora más fácilmente que el resto de acolchados analizados. Respecto a los acolchados orgánicos, el suelo con residuo de poda tuvo el menor Ψ_m y, por lo tanto, fue el más eficaz en la reducción de la evaporación del suelo, llegando a ser tan eficaz como el acolchado plástico.

En resumen y de acuerdo a los resultados de los tres ciclos de riego, el orden decreciente de la evaporación del suelo de los tratamientos de acolchado en base a los valores finales de Ψ_m fue:

Suelo desnudo \geq Geotextil \geq Corteza de pino = Paja de trigo \geq Residuos de poda \geq Plástico

III.2.3.2. Humedad gravimétrica del suelo

La Tabla III.6 presenta para cada tratamiento de acolchado la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida a tres profundidades (0-10, 10-20, y 20-30 cm) en tres fechas de muestreo del primer ciclo de riego.

En la fecha inicial (28/07/2011) no hubo diferencias significativas entre los tratamientos a cualquier profundidad del suelo, lo que indica que las condiciones iniciales de HG fueron similares. En el segundo muestreo (01/08/2011), la HG disminuyó en todos los tratamientos y profundidades de suelo en relación al primer muestreo. Las HG a cualquier profundidad fueron similares entre todos los tratamientos excepto en el suelo desnudo a 0-10 cm que fue significativamente menor que en el resto de tratamientos. Esta menor humedad del suelo desnudo superficial es atribuible a la evaporación.

En el tercer muestreo (05/08/2011) la HG fue solo ligeramente inferior a la del segundo muestreo, quizá debido en parte a la precipitación que se produjo antes de la toma de muestras (Figura 3.3). El suelo desnudo a la profundidad de 0-10 cm tuvo una HG significativamente menor que la del resto de tratamientos que tuvieron HG similares. En la profundidad de 10-20 cm se observaron algunas diferencias significativas entre tratamientos debidas probablemente a la variabilidad espacial del muestreo del suelo.

De acuerdo a los valores finales de la humedad gravimétrica en el perfil de 0-10 cm de profundidad, el orden decreciente de evaporación del suelo para los tratamientos de acolchado en el primer ciclo de riego fue:

Suelo desnudo > Geotextil = Corteza de pino = Paja de trigo = Residuos de poda = Plástico.

Esto es, únicamente se detectaron diferencias significativas entre el suelo desnudo a 0-10 cm y el resto de tratamientos que se asignaron a una mayor evaporación del suelo desnudo frente al de los suelos acolchados.

Tabla III.6. Primer ciclo de riego: humedad gravimétrica del suelo (media \pm desviación estándar) a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) en tres fechas de muestreo de cada tratamiento de acolchado. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Humedad gravimétrica media del suelo (HG, %)									
Fecha de muestreo	28/07/2011			01/08/2011			05/08/2011		
Profundidad suelo (cm)	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30
Tratamiento de acolchado									
Suelo desnudo	28.7a ± 0.3	26.3a ± 0.7	24.6a ± 0.9	18.1a ± 1.6	20.9a ± 1.8	21.9a ± 1.8	16.4a ± 1.4	18.6a ± 1.7	19.5a ± 1.6
Corteza pino	27.5a ± 0.7	24.6a ± 2.2	22.4a ± 1.6	24.4b ± 1.5	22.4a ± 0.8	21.2a ± 0.6	22.7b ± 0.8	21.7b ± 0.4	20.6a ± 1.1
Paja trigo	28.9a ± 1.4	25.5a ± 0.8	22.9a ± 1.0	24.9b ± 2.2	23.1a ± 1.9	20.6a ± 1.9	23.8b ± 1.7	22.0b ± 2.1	19.6a ± 2.1
Residuos poda	28.6a ± 1.6	25.4a ± 0.9	23.3a ± 0.9	24.3b ± 0.9	22.8a ± 0.7	21.4a ± 0.8	24.4b ± 3.3	21.8b ± 0.8	21.3a ± 0.5
Geotextil	27.5a ± 1.5	25.1a ± 2.1	23.0a ± 3.3	24.4b ± 1.6	22.8a ± 1.8	21.8a ± 2.9	23.4b ± 0.9	25.0c ± 1.3	22.1a ± 2.3
Plástico	28.2a ± 0.3	25.6a ± 0.9	22.5a ± 1.0	25.5b ± 1.5	21.4a ± 1.4	20.8a ± 1.5	23.7b ± 0.7	21.2a ± 2.0	20.6a ± 1.7

La Tabla III.7 presenta los valores de altura de agua (mm) almacenada en los primeros 30 cm de suelo en los distintos tratamientos y fechas de muestreo del primer ciclo de riego. En el primer muestreo no hubo diferencias significativas entre tratamientos, y en el segundo y tercer muestreo sólo hubo diferencias significativas entre el suelo desnudo y el resto de tratamientos.

De acuerdo con la altura de agua almacenada, se mantiene el mismo orden de efectividad en prevenir la evaporación que la obtenida con la humedad gravimétrica de 0-10 cm de profundidad. La pérdida de agua almacenada entre el primer y el tercer muestreo fue sensiblemente parecida en todos los tratamientos (pérdidas de en torno a 13-17 mm según tratamientos) excepto en el geotextil, que solo perdió 7.1 mm, y en el suelo desnudo que tuvo la máxima pérdida de agua (35.1 mm), indicativa de su mayor tasa de evaporación. Es decir, el suelo desnudo triplicó en promedio su evaporación en relación con la obtenida en los suelos acolchados.

La Tabla III.8 presenta la tasa de evaporación media estimada en cada tratamiento a partir de las respectivas pérdidas de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo en los períodos comprendidos entre las tres fechas de muestreo del primer ciclo de riego. Estos valores asumen que no existe flujo de agua por debajo de 30 cm del suelo.

En el período inicial, la evaporación media en el suelo desnudo (6.6 mm día^{-1}) fue significativamente mayor que en el resto de tratamientos de acolchado (valores iguales o inferiores a 3.1 mm día^{-1}). El suelo bajo plástico, con una evaporación teórica despreciable, tuvo unos cambios de humedad que implicarían una evaporación media diaria del suelo de 2.4 mm día^{-1} . Si se acepta que la evaporación del suelo bajo plástico es irrelevante, este resultado sugiere que existe un flujo descendente del agua por debajo de 30 cm de profundidad probablemente debido a que en este ciclo de riego se aplicó una dosis alta de riego (98.5 mm). Así, los valores de HG en el primer muestreo del suelo bajo plástico (Tabla III.6), fueron superiores a la HG a capacidad de campo ($CC = 24.3\%$), lo que estaría de acuerdo con que los cambios de humedad se han podido deber a flujo descendente y no

necesariamente a evaporación. Si este comportamiento es extrapolable al resto de tratamientos donde la HG fue asimismo superior a CC, el resultado último sería que las evaporaciones presentadas en la Tabla III.8 estarían sobrevaloradas. La existencia potencial de un flujo descendente de agua en el período inicial es concordante con los valores de Ψ_m mayores de -0.30 KPa medidos en todos los tratamientos excepto en el suelo desnudo (Figura III.10).

Tabla III.7. Primer ciclo de riego: altura de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo de cada tratamiento de acolchado en las tres fechas de muestreo. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Altura de agua (mm) almacenada en los primeros 30 cm de suelo			
Fecha de muestreo	28/07/2011	01/08/2011	05/08/2011
Tratamiento de acolchado			
Suelo desnudo	111.4a	85.3a	76.3a
Corteza pino	104.3a	95.2b	91.0b
Paja trigo	108.2a	96.0b	91.6b
Residuos poda	108.2a	95.9b	94.5b
Geotextil	105.8a	96.6b	98.7b
Plástico	106.8a	94.8b	91.7b

Tabla III.8. Primer ciclo de riego: tasa de evaporación media estimada en cada tratamiento a partir de las respectivas pérdidas de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo en los períodos comprendidos entre las tres fechas de muestreo. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Tasa de evaporación media (mm día^{-1})		
Tratamiento	Periodo	
	28/07 – 01/08 (día 0 a día 4)	01/08-05/08 (día 4 a día 8)
Suelo desnudo	6.6b	2.1b
Corteza pino	2.3a	1.0a
Paja trigo	3.1a	1.1a
Residuos poda	3.1a	0.3a
Geotextil	2.4a	0.4a
Plástico	2.4a	1.3ab

En el período final (día 4 a día 8), todas las evaporaciones disminuyeron claramente respecto a las obtenidas en el período inicial debido a la menor humedad del suelo. La evaporación del suelo desnudo fue significativamente mayor que la del resto de tratamientos, cuyas evaporaciones fueron similares. La única excepción anómala se obtuvo en el suelo bajo plástico, cuya evaporación fue igual o incluso mayor que la del resto de tratamientos. La precipitación registrada el 5 de agosto, que pudo aumentar la humedad de todos los suelos excepto el acolchado bajo plástico, podría explicar esta anomalía.

La Tabla III.9 presenta para el segundo ciclo de riego la HG media del suelo medida a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) en tres fechas de muestreo de cada tratamiento de acolchado. En el primer muestreo (9/8/2011) no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, excepto en el suelo de 0-10 cm del tratamiento control (suelo desnudo) que fue significativamente menor. En el segundo (16/8/2011) y tercer muestreo (23/8/2011) los

tratamientos de acolchado tuvieron una HG significativamente mayor que la del suelo desnudo, excepto para la profundidad de 20-30 cm. Los mayores cambios de HG se produjeron a la profundidad de suelo de 0-10 cm, en particular en el suelo desnudo donde la humedad a 0-10 cm bajó hasta el 13.0%, bastante próxima al punto de marchitez (9.2%). Por el contrario, el suelo bajo plástico a 0-10 cm mantuvo una humedad relativamente elevada (23.7%), próxima a capacidad de campo (24.3%) y significativamente mayor a la medida en el resto de tratamientos. Para la profundidad de 10 a 20 cm, todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales en el primer muestreo, pero en el segundo y tercer muestreo la HG del suelo desnudo fue menor que la del resto de tratamientos debido a su mayor evaporación. Por el contrario, la evaporación no afectó a la HG del suelo a 20-30 cm de profundidad, que dentro de cada fecha de muestreo fue similar en todos los tratamientos de suelo.

Tabla III.9. Segundo ciclo de riego: humedad gravimétrica del suelo (media \pm desviación estándar) medida a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) en tres fechas de muestreo de cada tratamiento de acolchado. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Humedad gravimétrica media del suelo (HG, %)									
Fecha de muestreo	09/08/2011			16/08/2011			23/08/2011		
Profundidad suelo (cm)	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30
Tratamiento de acolchado									
Suelo desnudo	25.0a ± 0.8	26.1a ± 0.1	24.0a ± 1.3	17.5a ± 0.9	20.4a ± 0.4	21.3a ± 1.2	13.0a ± 1.5	16.9a ± 0.9	18.5a ± 2.3
Corteza pino	27.6b ± 1.1	26.4a ± 1.4	25.2a ± 1.1	24.4b ± 1.5	23.2b ± 1.2	22.2a ± 2.3	20.6b ± 1.0	21.4b ± 1.5	21.2a ± 1.5
Paja trigo	28.5b ± 1.5	26.8a ± 1.2	25.0a ± 1.5	24.9b ± 1.5	25.0b ± 0.4	23.6a ± 2.1	21.3b ± 0.9	22.4b ± 0.1	21.3a ± 0.3
Residuos poda	27.5b ± 0.4	26.7a ± 1.0	25.1a ± 1.7	25.2b ± 1.3	23.5b ± 1.5	22.3a ± 2.1	21.3b ± 2.0	21.4b ± 1.4	20.9a ± 3.0
Geotextil	27.4b ± 1.7	25.0a ± 2.0	23.3a ± 2.3	23.2b ± 1.7	22.8b ± 2.4	22.0a ± 2.2	20.4b ± 0.6	21.0b ± 1.3	20.5a ± 2.0
Plástico	26.4b ± 0.7	26.0a ± 1.4	25.0a ± 2.6	25.1b ± 1.4	23.6b ± 2.3	22.0a ± 2.1	23.7c ± 1.0	22.7b ± 1.7	21.4a ± 1.8

De acuerdo con los valores finales de HG a 0-10 cm de profundidad, el orden decreciente de evaporación en el primer ciclo de riego fue:

Suelo desnudo > Geotextil = Corteza de pino = Paja de trigo = Residuos de poda > Plástico.

La Tabla III.10 presenta los valores de altura de agua (mm) almacenada en los primeros 30 cm de suelo en los distintos tratamientos y fechas de muestreo del segundo ciclo de riego.

Al igual que en el primer ciclo de riego, en el primer muestreo no hubo diferencias significativas entre tratamientos, y en el segundo y tercer muestreo sólo hubo diferencias significativas entre el suelo desnudo y el resto de tratamientos. De acuerdo con la altura de agua almacenada, se mantiene el mismo orden de efectividad en prevenir la evaporación que la obtenida con la humedad gravimétrica de 0-10 cm de profundidad. La pérdida de agua almacenada entre el primer y el tercer muestreo fue sensiblemente parecida en todos los tratamientos excepto en el suelo bajo plástico, donde solo se perdieron 13.5 mm, y en el suelo desnudo donde la evaporación produjo una pérdida de agua casi tres veces mayor (37.2 mm).

Tabla III.10. Segundo ciclo de riego: altura de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo de cada tratamiento de acolchado en las tres fechas de muestreo. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Altura de agua (mm) almacenada en los primeros 30 cm de suelo			
Fecha de muestreo	09/08/2011	16/08/2011	23/08/2011
Tratamiento de acolchado			
Suelo desnudo	105.1a	82.9a	67.8a
Corteza pino	110.9a	97.7b	88.5b
Paja trigo	112.4a	102.9b	91.0b
Residuos poda	111.0a	99.4b	89.0b
Geotextil	106.0a	95.2b	86.7b
Plástico	108.4a	99.0b	94.9b

La Tabla III.11 presenta la tasa de evaporación media estimada en cada tratamiento a partir de las respectivas pérdidas de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo en los períodos comprendidos entre las tres fechas de muestreo del segundo ciclo de riego.

Únicamente en el primer período (día 0 a día 7) la evaporación media en el tratamiento de suelo desnudo (3.2 mm día^{-1}) fue significativamente mayor que en el resto de tratamientos que tuvieron unas tasas de evaporación similares entre si (entre 1.9 y 1.3 mm día^{-1}). En el segundo período todos los tratamientos tuvieron unas tasas de evaporación estadísticamente iguales, aunque el valor del suelo desnudo fue de 2.2 mm día^{-1} frente a un valor de tan solo 0.6 mm día^{-1} en el suelo bajo plástico. Al igual que en el primer ciclo de riego, el acolchado plástico tuvo una tasa de evaporación aparente de 1.3 mm día^{-1} en el periodo inicial, presuntamente atribuible a la percolación de agua por debajo de los 30 cm de profundidad de suelo. Los valores de Ψ_m mayores de -0.30 KPa (CC) en el suelo bajo plástico a lo largo de todo el ciclo (Figura III.11) está de acuerdo con esta posibilidad.

Tabla III.11. Segundo ciclo de riego: tasa de evaporación media estimada en cada tratamiento a partir de las respectivas pérdidas de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo en los períodos comprendidos entre las tres fechas de muestreo. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Tasa de evaporación media (mm día^{-1})		
Tratamiento	Periodo	
	09/08 – 16/08 (día 0 a día 7)	19/08 – 23/08 (día 7 a día 14)
Suelo desnudo	3.2b	2.2a
Corteza pino	1.9a	1.3a
Paja trigo	1.4a	1.7a
Residuos poda	1.7a	1.5a
Geotextil	1.5a	1.2a
Plástico	1.3a	0.6a

La Tabla III.12 presenta para el tercer ciclo de riego la HG media del suelo medida a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) en tres fechas de muestreo de cada tratamiento de acolchado. La HG del suelo en este ciclo de riego fue menor que en el primer y el segundo ciclo debido a la menor dosis de riego aplicada (33 mm). Al igual que para el primer y segundo ciclo de riego, en el primer muestreo no hubo diferencias significativas entre los

tratamientos, excepto en el suelo de 0-10 cm del tratamiento control (suelo desnudo) que fue significativamente menor. En el segundo y tercer muestreo los tratamientos de acolchado tuvieron una HG significativamente mayor que la del suelo desnudo, excepto para la profundidad de 20-30 cm. Los mayores cambios de HG se produjeron a la profundidad de suelo de 0-10 cm, en particular en el suelo desnudo donde la humedad a 0-10 cm bajó hasta el 13.6%. Por el contrario, el suelo bajo plástico a 0-10 cm mantuvo una humedad relativamente elevada (22.9%) y significativamente mayor a la del resto de tratamientos. Para la profundidad de 20 a 30 cm, todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales en cada muestro.

De acuerdo con los valores finales de HG a 0-10 cm de profundidad, el orden decreciente de evaporación en el segundo ciclo de riego fue:

Suelo desnudo > Geotextil = Corteza de pino = Paja de trigo = Residuos de poda >Plástico.

Tabla III.12. Tercer ciclo de riego: humedad gravimétrica del suelo (media \pm desviación estándar) medida a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) en tres fechas de muestreo de cada tratamiento de acolchado. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Humedad gravimétrica media del suelo (HG. %)									
Fecha de muestreo	29/08/2011			06/09/2011			12/09/2011		
Profundidad suelo (cm)	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30
Tratamiento de acolchado									
Suelo desnudo	19.3a ± 1.2	21.6a ± 1.5	21.1a ± 2.6	14.2a ± 0.8	18.3a ± 1.6	18.8a ± 2.4	13.6a ± 0.9	17.2a ± 2.6	18.4a ± 2.9
Corteza pino	24.8b ± 1.5	24.5a ± 0.9	22.5a ± 1.9	20.7b ± 1.4	21.6b ± 1.0	20.8a ± 1.3	19.6b ± 1.0	20.2b ± 1.0	19.3a ± 1.7
Paja trigo	24.6b ± 2.0	23.3a ± 1.6	22.3a ± 2.7	21.1b ± 1.8	21.3b ± 1.9	20.2a ± 1.7	19.7b ± 2.3	19.8b ± 2.1	19.1a ± 1.9
Residuos poda	24.3b ± 1.4	24.3a ± 1.3	23.2a ± 2.5	21.2b ± 1.2	22.1b ± 1.8	20.4a ± 1.9	20.1b ± 0.7	21.0b ± 1.4	20.1a ± 2.0
Geotextil	23.4b ± 1.7	23.2a ± 1.3	21.6a ± 1.4	20.1b ± 1.0	20.9b ± 1.0	20.5a ± 2.1	18.7b ± 0.5	20.3b ± 1.1	19.4a ± 1.7
Plástico	25.5b ± 1.1	24.5a ± 1.7	23.0a ± 2.8	23.3b ± 1.7	22.1b ± 1.3	21.3a ± 3.7	22.9c ± 1.3	21.1b ± 2.3	21.1a ± 2.3

La Tabla III.13 presenta los valores de altura de agua (mm) almacenada en los primeros 30 cm de suelo en los distintos tratamientos y fechas de muestreo del tercer ciclo de riego. En todos los muestreos el agua almacenada en el suelo desnudo fue significativamente menor que la del resto de tratamientos.

La pérdida de agua almacenada entre el primer y el tercer muestreo fue sensiblemente parecida en todos los tratamientos excepto en el suelo bajo plástico, donde solo se perdieron 11.1 mm. El hecho de que la pérdida de agua sea similar en el suelo desnudo que en el suelo acolchado (salvo en el acolchado plástico) puede atribuirse a la menor HG del suelo desnudo (Tabla III.12).

La Tabla III.14 presenta la tasa de evaporación media estimada en cada tratamiento a partir de las respectivas pérdidas de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo en los períodos comprendidos entre las tres fechas de muestreo del tercer ciclo de riego.

Tabla III.13. Tercer ciclo de riego: altura de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo de cada tratamiento de acolchado en las tres fechas de muestreo. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Altura de agua (mm) almacenada en los primeros 30 cm de suelo			
Fecha de muestreo	29/08/2011	06/09/2011	12/09/2011
Tratamiento de acolchado			
Suelo desnudo	86.8a	71.8a	68.9a
Corteza pino	100.5b	88.3b	82.7b
Paja trigo	98.3b	87.6b	82.0b
Residuos poda	100.5b	89.2b	85.7b
Geotextil	95.5b	86.1b	81.8b
Plástico	102.2b	93.4b	91.1b

Tabla III.14. Tercer ciclo de riego: tasa de evaporación media estimada en cada tratamiento a partir de las respectivas pérdidas de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo en los períodos comprendidos entre las tres fechas de muestreo. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Tasa de evaporación media (mm día^{-1})		
Tratamiento	Periodo	
	29/8 – 6/9 (día 0 a día 8)	6/9 – 12/9 (día 8 a día 14)
Suelo desnudo	1.9 b	0.5a
Corteza pino	1.5a	0.9a
Paja trigo	1.4a	0.9a
Residuos poda	1.4a	0.6a
Geotextil	1.2a	0.7a
Plástico	1.1a	0.4a

Tal como cabe esperar de las menores HG del suelo en este ciclo de riego (Tabla III.12), todas las tasas de evaporación en el tercer ciclo de riego fueron inferiores a las obtenidas en el primer y segundo ciclo de riego. La comparación entre tratamientos indica que únicamente en el primer período (día 0 a día 8) la evaporación media en el tratamiento de suelo desnudo (1.9 mm día^{-1}) fue significativamente mayor que en el resto de tratamientos que tuvieron unas tasas de evaporación similares entre si (entre 1.5 y 1.1 mm día^{-1}). Dado que el Ψ_m del suelo desnudo fue menor de -0.3 KPa (CC) en este período (Figura III.12), dicha evaporación no debería estar sobrevalorada por posibles percolaciones de agua por debajo de 30 cm de profundidad. Por el contrario, los Ψ_m mayores que CC en todos los tratamientos y, en particular, el del suelo bajo plástico sugieren que sus evaporaciones estén sobrestimadas por la existencia de un flujo descendente de agua. En el segundo período todos los tratamientos tuvieron unas tasas de evaporación estadísticamente iguales.

Síntesis de resultados de humedad gravimétrica (HG) del suelo

El orden decreciente de los tratamientos en base a la HG medida a 0-10 cm de profundidad al final de cada ciclo de riego fue concordante:

Suelo desnudo > Geotextil = Corteza pino = Paja trigo = Residuos de poda \geq Plástico.

Dado que el suelo partió de una misma HG en todos los tratamientos de cada ciclo de riego, el orden anterior es atribuible a un mismo orden decreciente de evaporación. En consecuencia, la evaporación sería máxima y significativamente diferente en el suelo desnudo, mínima y significativamente diferente (excepto en el primer ciclo de riego) en el suelo bajo plástico e intermedia y similar en el resto de acolchados.

En base a la tasa de evaporación media estimada en cada tratamiento a partir de las respectivas pérdidas de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo en los periodos comprendidos entre las tres fechas de muestreo, el orden decreciente de los tratamientos en los tres ciclos de riego sería (con alguna excepción):

Suelo desnudo > Geotextil = Corteza pino = Paja trigo = Residuos de poda = Plástico.

Es decir, el orden es similar al obtenido con la HG con la excepción del suelo bajo plástico en el que la tasa de evaporación no fue significativamente menor a la obtenida con el resto de acolchados.

Este resultado parece incongruente, ya que cabría esperar que la evaporación del suelo bajo plástico fuera claramente menor que la del resto de tratamientos. Tal como se ha recalado anteriormente, esta incongruencia podría explicarse (al menos parcialmente) por una sobrestimación de la tasa de evaporación en el suelo bajo plástico derivada de un posible flujo descendente de agua por debajo de los 30 cm de profundidad de suelo debido a una mayor humedad y un mayor Ψ_m del suelo en dicho tratamiento.

Debe resaltarse que la tasa de evaporación del suelo depende exclusivamente de las características climáticas a las que se ve sujeto en tanto en cuanto la humedad del suelo es suficiente para satisfacer la demanda evaporativa (ET_o). Sin embargo, cuando la humedad del suelo baja a unos valores para los que es incapaz de satisfacer la ET_o, la tasa de evaporación viene también determinada por la humedad existente en el suelo. Así, para el conjunto de tratamientos del primer riego (exceptuando el suelo desnudo del primer período, con un valor anómalamente alto de 6.6 mm día⁻¹) la evaporación media fue de 2.0 mm día⁻¹ para una HG media relativamente elevada (25.0%), disminuyó hasta 1.6 mm día⁻¹ para una HG intermedia (23.6%), y hasta 1.0 mm día⁻¹ para una HG mas baja (21.4%).

A efectos ilustrativos, la Figura III.13a presenta la relación entre las tasas de evaporación y las HG medias del conjunto de tratamientos para los periodos inicial y final de cada riego (esto es, 3 riegos x 2 periodos = 6 observaciones). Ambas variables están significativamente correlacionadas (P < 0.05), de tal manera que la tasa de evaporación disminuye con la disminución de la humedad del suelo.

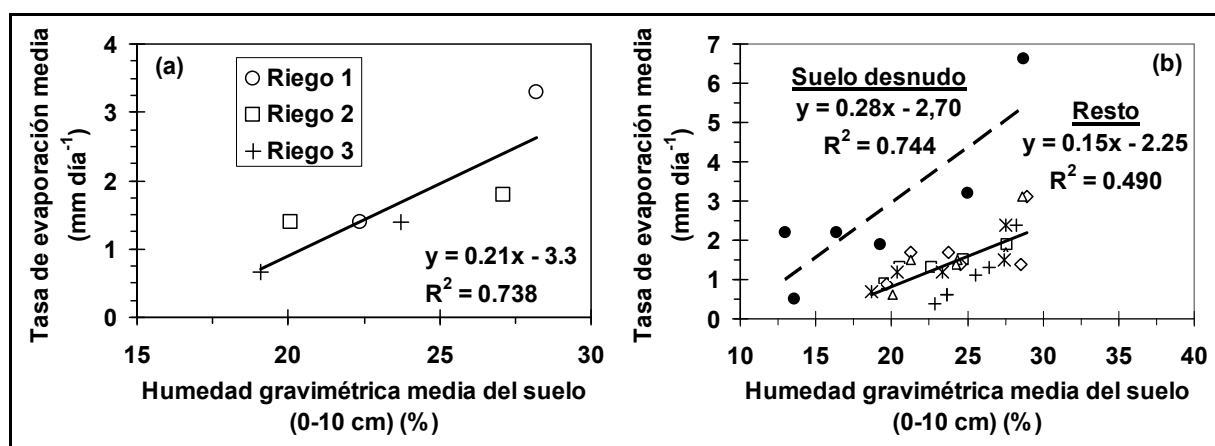


Figura III.13. (a) regresión lineal entre las tasas de evaporación y la humedad gravimétrica del conjunto de tratamientos para los periodos inicial y final de cada riego. (b) regresión lineal entre las tasas de evaporación y la humedad gravimétrica para los periodos inicial y final de cada riego del suelo desnudo y de los tratamientos de acolchado (Resto).

Tal como cabe esperar, la tasa de evaporación es mayor y disminuye mas por descenso de unidad de HG en el suelo desnudo que en los suelos acolchados debido a la mayor demanda evaporativa del suelo desnudo. Así, la Figura III.13b indica que la pendiente de la ecuación de regresión lineal del suelo desnudo es casi el doble que la pendiente para el conjunto de acolchados del suelo.

III.2.3.3. Comparación entre las medidas de potencial matricial y humedad gravimétrica del suelo

Con el objetivo de evaluar el funcionamiento de las sondas Watermark® en la medida del Ψ_m , se ha relacionado la humedad gravimétrica (HG) a 0-10 cm de profundidad de suelo medida en cada muestreo con las lecturas de Ψ_m a 5 cm de profundidad registradas en la misma fecha y hora de cada muestreo. En esta relación se asume que la humedad a 0-10 cm es representativa de la humedad media (y, por lo tanto, del Ψ_m) a 5 cm. La Figura III.14 muestra que el Ψ_m y la HG están positiva y significativamente correlacionados ($P < 0.001$), indicando que la HG aumenta con el aumento de Ψ_m . Asimismo, la ecuación de regresión lineal indica que para un Ψ_m de -30 KPa (capacidad de campo), la HG estimada es 21.4%, valor aceptablemente próximo a la HG medida del 24.3%.

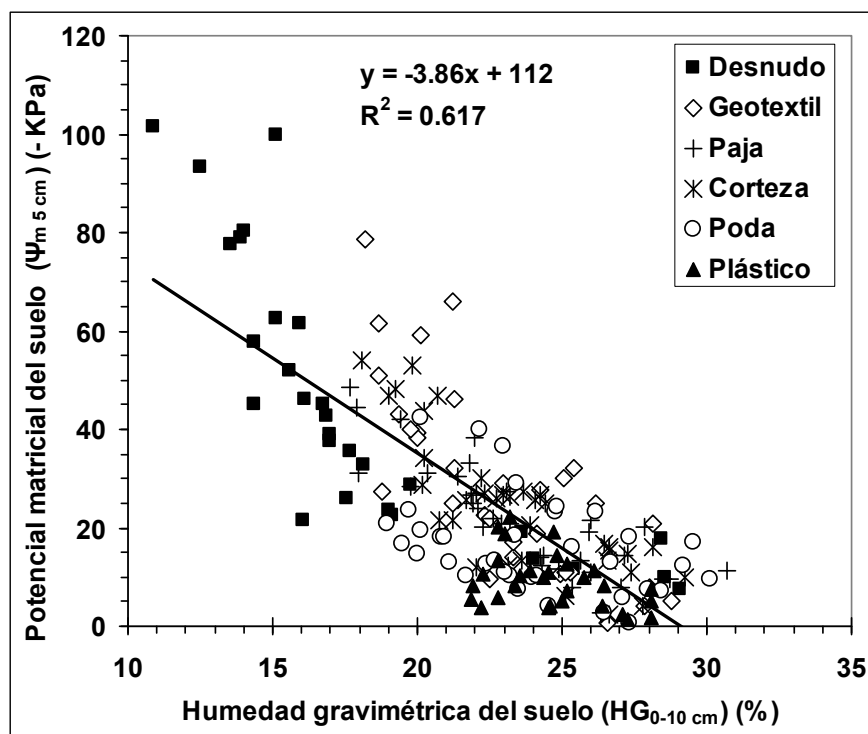


Figura III.14. Regresión lineal entre el potencial matricial del suelo (Ψ_m) a 5 cm de profundidad y la humedad gravimétrica del suelo (HG) a 0-10 cm de profundidad medidos en la misma fecha y hora en cada tratamiento a lo largo de los tres ciclos de riego.

Eldredge et al. (1993) compararon las lecturas de sondas Watermark® con la humedad gravimétrica de un suelo limoso en un cultivo de patata encontrando una relación muy estrecha entre ambas medidas con un valor de la raíz del error cuadrático medio próximo a 0. El número de observaciones fue 94 y las medidas se tomaron a 25 cm de profundidad del suelo. Varios autores han mostrado el éxito de las sondas Watermark® en el control del riego en diferentes cultivos. Enciso et al. (2009) usaron estas sondas en el estudio de diferentes niveles de estrés hídrico en riego localizado en un cultivo de cebolla. Las sondas se instalaron a 20 cm de profundidad y los tratamientos de riego consistieron en la aplicación del riego cuando las lecturas de las sondas alcanzaban -20, -30 y -50 KPa. Los resultados muestran que el rendimiento de la cebolla no se vio afectado cuando el potencial matricial

del suelo se mantenía en valores de -20 y -30 KPa, mientras que el redimiendo disminuyó estadísticamente cuando el potencial matricial del suelo fue -50 KPa. Otros trabajos no encontraron buenas relaciones entre estos dos métodos de medida del estado hídrico del suelo (Intrigliolo y Castel, 2006).

Tal como cabe esperar, el suelo desnudo es el que muestra los menores valores de HG y Ψ_m , y el suelo bajo plástico el de mayores Ψ_m y HG (aunque para este último algunos tratamientos tienen mayores valores de HG). También se observa que los puntos que más se alejan de la tendencia general corresponden al suelo desnudo y al geotextil, con lecturas de Ψ_m que disminuyen de forma rápida cuando alcanzan un valor de en torno a - 50 KPa. Morgan et al. (2001) encontraron que las lecturas Watermark® aumentaban de forma rápida cuando alcanzaban - 20 KPa, y que dichas lecturas no reflejaban las condiciones reales de humedad del suelo. Estos autores explicaron este fenómeno por la pérdida de la continuidad hidráulica entre las sondas y el suelo. Hanson (1999) evaluó la eficiencia de distintas sondas de humedad (sondas Watermark®, bloques de yeso y sondas Enviroscan) para medir los cambios en el contenido hídrico del suelo. Este autor concluyó que las sondas Watermark® y los bloques de yeso mostraron buena respuesta a los cambios en el contenido de humedad excepto en los suelos de textura limo arenosa. Santos et al. (2007) mostraron que las sondas Watermark® instaladas a varias profundidades del suelo en un cultivo de olivo fueron capaces de detectar las variaciones del Ψ_m cuando la humedad es alta pero no cuando la humedad es baja.

La Tabla III.15 compara la variación media de HG (mm día⁻¹) a 0-10 cm de profundidad con la variación media de Ψ_m (KPa día⁻¹) a 5 cm de profundidad para los periodos comprendidos entre las diferentes fechas de muestreo y ciclos de riego. El segundo período del primer riego se ha eliminado por el posible efecto de la precipitación ya mencionado. Los resultados de la variación de HG a 0-10 cm de profundidad son en general similares a los deducidos anteriormente para la profundidad de 0-30 cm. Estos resultados indican que solo hubo diferencias significativas entre tratamientos cuando el suelo estaba húmedo (primer periodo entre muestreos después de un riego). Por el contrario, para Ψ_m se detectaron diferencias significativas entre tratamientos en todos los periodos. El suelo desnudo tuvo las mayores variaciones de HG y de Ψ_m , en tanto que el suelo bajo plástico tuvo las menores variaciones de ambas variables.

Tabla III.15. Valores medios de la variación de humedad gravimétrica a 0-10 cm de profundidad (Δ HG) y de la variación del potencial matricial a 5 cm de profundidad ($\Delta\Psi_m$) en los periodos entre las distintas fechas de muestreo de suelo de los tres ciclos de riego. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes (P < 0.05).

Fecha de muestreo	Primer ciclo de Riego		Segundo ciclo de riego				Tercer ciclo de Riego			
	28/07 al 01/08 (4 días)		09/08 al 16/08 (7 días)		16/08 al 23/08 (7días)		29/08 al 6/09 (8 días)		06/09 al 23/09 (6 días)	
	Δ HG mm día ⁻¹	$\Delta\Psi_m$ -KPa día ⁻¹	Δ HG mm día ⁻¹	$\Delta\Psi_m$ -KPa día ⁻¹	Δ HG mm día ⁻¹	$\Delta\Psi_m$ -KPa día ⁻¹	Δ HG mm día ⁻¹	$\Delta\Psi_m$ -KPa día ⁻¹	Δ HG mm día ⁻¹	$\Delta\Psi_m$ -KPa día ⁻¹
Desnudo	3.7b	25.0c	1.5c	31.7c	0.8a	85.6d	0.9c	45.1d	0.2a	97.0d
Corteza	1.1a	16.2b	0.7ab	15.3ab	0.8a	26.5bc	0.7bc	24.9bc	0.3a	47.0b
Paja	1.4a	12.7ab	0.8b	13.4ab	0.7a	25.8bc	0.6ab	20.8bc	0.3a	45.4b
Poda	1.5a	11.8ab	0.6ab	11.5ab	0.7a	18.1ab	0.6ab	14.5ab	0.3a	26.9a
Geotextil	1.1a	14.1b	0.8b	18.6b	0.6a	36.1c	0.6ab	32.7cd	0.3a	65.6c
Plástico	1.0a	5.4a	0.4a	6.5a	0.3a	9.4a	0.4a	5.6a	0.1a	11.9a

Todos los materiales de acolchado redujeron significativamente las variaciones de HG en el primer período de cada ciclo de riego en relación con la del suelo desnudo. Sin embargo, estas diferencias se anularon estadísticamente en los segundos períodos, cuando los suelos estaban más secos. Es decir, los materiales de acolchado redujeron inicialmente la evaporación y conservaron su humedad en relación con la del suelo desnudo, lo que supone un aumento de la disponibilidad del agua para las plantas (Xie et al., 2006), pero conforme los suelos se secaron la eficiencia de los acolchados disminuyó. La Tabla III.15 indica asimismo que aunque las menores variaciones de HG (esto es, menor evaporación) se observaron siempre en el suelo bajo plástico, las diferencias no fueron en general significativas debido a las elevadas desviaciones estándar alcanzadas en el ensayo. Es decir, aunque no estadísticamente, el plástico fue cuantitativamente el material más eficaz en la conservación del contenido hídrico del suelo.

Este resultado ha sido observado por varios autores en ensayos con cultivos. Hu et al. (1995) mostraron que la densidad del flujo de vapor de agua en los primeros 20 cm de profundidad debajo del plástico fue 1.7 veces más alto que en el suelo sin acolchado e indicaron un alto movimiento de agua desde las capas profundas del suelo hacia la superficie. Ghosh et al. (2006) mostraron que el acolchado plástico redujo la evaporación del suelo de un cultivo de cacahuete en mayor medida que el acolchado con paja de trigo salvo en los meses de abril y mayo que fueron lluviosos. Maurya y Lal (1981) también encontraron una diferencia significativa entre el acolchado plástico y la paja de arroz en un cultivo de maíz solo en los periodos secos sin lluvia. Kumar y Dey (2011), mostraron en un cultivo de fresa que el plástico y la paja redujeron de una manera significativa la evaporación del suelo en comparación con el suelo desnudo en el perfil de suelo de 0-25 cm de profundidad, mientras que la evaporación acumulada fue más alta en el tratamiento con paja que con plástico. Liang et al. (2011) mostraron que el acolchado de suelo de un cultivo de pimiento bajo plástico y paja de trigo aumentó la humedad del suelo llegando a valores de 21.1 y 32.8% respectivamente en los primeros 20 cm del perfil del suelo. Awoodoyin et al. (2007) encontraron en un cultivo de tomate bajo distintos materiales de acolchado que el orden de eficiencia de reducción de la evaporación en los primeros 15 cm de profundidad del suelo fue Plástico negro > corteza de árboles > malas hierbas > suelo desnudo.

En base a las variaciones de Ψ_m , las diferencias entre tratamientos fueron mayores que en base a las variaciones de la HG. Así, en todos los períodos y riegos analizados las variaciones de Ψ_m fueron siempre estadísticamente mayores en el suelo desnudo que en el suelo bajo plástico (Tabla III.15). Si se acepta que una mayor variación de Ψ_m hacia valores más negativos (Figura III.9) implica una mayor evaporación, la conclusión general es que el suelo bajo plástico tuvo una evaporación menor que el suelo desnudo. Respecto al resto de acolchados, los resultados no son concluyentes ya que en tres de los cinco períodos analizados el geotextil fue el que mostró una mayor variación del Ψ_m (esto es, una mayor evaporación), mientras que en los otros dos períodos fue la corteza de pino la de mayor variación del Ψ_m . En todos los períodos, el residuo de la poda de frutales fue el que tuvo las menores variaciones del Ψ_m (aunque sin diferencias significativas entre ellos), lo que sugeriría que, después del plástico, fue este acolchado que más redujo la evaporación.

III.3. Síntesis de los ensayos de evaporación de suelo con distintos acolchados en condiciones de laboratorio y de campo

La comparación de los resultados obtenidos en laboratorio y campo respecto al orden de eficiencia de los acolchados en la reducción de la evaporación respecto a la obtenida en suelo desnudo es compleja debido a las diferencias entre ensayos, distintas variables analizadas, distintas condiciones ambientales y distinta duración de los periodos de medida en los ensayos.

Por ello, para conseguir una comparación entre laboratorio y campo lo más homogénea posible se analizó en el ensayo de laboratorio los resultados de evaporación obtenidos con los distintos tratamientos y el suelo inicialmente húmedo en los primeros cinco días de

evaporación (Tabla III.1), y en el ensayo de campo los resultados de la variación de la humedad gravimétrica (HG) obtenidos con los distintos tratamientos y el suelo inicialmente húmedo (esto es, primer período de cada ciclo de riego de 4, 7 y 8 días de duración, respectivamente) (Tabla III.15).

La principal diferencia en esta comparación es que el suelo del ensayo en laboratorio tenía una HG inicial del 39.3% (saturación), mientras que el suelo en el ensayo de campo tenía una HG inicial media próxima a la de capacidad de campo del 24.3%. La Tabla III.16 resume estos valores para el ensayo de laboratorio y para los tres períodos iniciales de cada riego del ensayo de campo, donde los tratamientos se han ordenado de menor a mayor evaporación según los resultados obtenidos en laboratorio. Esta tabla recoge también la HG media inicial del suelo en el ensayo de laboratorio y en los tres riegos del ensayo de campo.

En el ensayo preliminar de laboratorio con el suelo inicialmente saturado el orden decreciente de evaporación en los primeros cinco días fue (Tabla III.16):

Suelo desnudo > Geotextil > Residuo poda de viña > Paja trigo > Corteza pino > Plástico

A pesar de que las diferencias en evaporación fueron pequeñas para algunos tratamientos, todas ellas fueron significativamente diferentes debido a las bajas desviaciones estándar obtenidas en este ensayo de laboratorio.

En el ensayo de campo con el suelo inicialmente próximo a capacidad de campo el orden decreciente de evaporación en el primer período de los tres riegos fue (Tabla III.16):

Suelo desnudo > Residuos de poda = Paja de trigo = Corteza de pino = Geotextil = Plástico

A pesar de que las diferencias en evaporación fueron importantes en algunos tratamientos, únicamente hubo diferencias significativas entre el suelo desnudo y el resto de tratamientos debido a las elevadas desviaciones estándar obtenidas en este ensayo de campo. Asimismo, la Tabla III.16 indica que las evaporaciones disminuyeron con el descenso de humedad del suelo, siendo muy parecidas en el caso del suelo más seco (HG = 23.7%).

Tabla III.16. Evaporación media del suelo en los seis tratamientos obtenida en el ensayo de laboratorio en los primeros cinco días de evaporación y variación de la humedad gravimétrica media a 0-10 cm de profundidad en los seis tratamientos obtenida en el primer período de los riegos 1, 2 y 3 del ensayo de campo. Valores con letras diferentes entre tratamientos son significativamente diferentes ($P < 0.05$). Se presenta asimismo la humedad gravimétrica (HG) media inicial en el ensayo de laboratorio y en los tres riegos del ensayo de campo.

	Ensayo de laboratorio	Ensayo de campo		
		Riego 1	Riego 2	Riego 3
Evaporación media (mm día ⁻¹)				
Plástico negro	0.3 a	1.0a	0.4a	0.4a
Corteza de pino	0.8 b	1.1a	0.7ab	0.7bc
Paja de trigo	1.1 c	1.4a	0.8b	0.6ab
Residuos poda viña	1.3 d	1.5a	0.6ab	0.6ab
Geotextil de yute	1.4 e	1.1a	0.8b	0.6ab
Suelo desnudo	1.5 f	3.7b	1.5c	0.9c
HG media inicial (%)	39.3	28.1	27.1	23.7

Tomando como referencia la evaporación del suelo desnudo, los acolchados redujeron en promedio la evaporación del suelo en un 67% (Riego 1, humedad más alta), un 56% (Riego 2, humedad intermedia) y un 35% (Riego 3, humedad más baja).

El orden decreciente de evaporación de los distintos tratamientos obtenido en este capítulo en base a otras variables del ensayo de campo es:

- Variable: HG medida a 0-10 cm de profundidad al final de cada ciclo de riego:

Suelo desnudo > Geotextil = Corteza pino = Paja trigo = Residuos de poda ≥ Plástico.

- Variable: pérdidas de agua almacenada en los primeros 30 cm de suelo en los períodos comprendidos entre las tres fechas de muestreo:

Suelo desnudo > Geotextil = Corteza pino = Paja trigo = Residuos de poda = Plástico.

- Variable: variación del Ψ_m en los periodos entre las distintas fechas de muestreo de suelo de los tres ciclos de riego:

Suelo desnudo > Geotextil = Corteza de pino = Paja de trigo ≥ Residuos de poda ≥ Plástico

- Variable: valores finales del Ψ_m en los tres ciclos de riego estudiados:

Suelo desnudo > Geotextil ≥ Corteza de pino = Paja = Residuos de poda ≥ Plástico.

Esta síntesis de resultados indica que los mismos dependen en parte de la variable analizada, pero en todos los casos el suelo desnudo tuvo una evaporación significativamente mayor que la de los acolchados, y el suelo bajo plástico tuvo la menor evaporación de todos los acolchados, aunque solo en algunos casos fue significativa. El resto de acolchados tuvieron unas evaporaciones similares o no significativamente diferentes entre ellos, aunque cuantitativamente y en términos generales el residuo de poda fue el más eficiente y el geotextil el menos eficiente en reducir la evaporación.

III.4. Conclusiones

- 1- En el ensayo preliminar en laboratorio con un suelo inicialmente saturado, las tasas de evaporación del suelo en los seis tratamientos analizados durante los primeros cinco días del ensayo fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$). El orden de eficiencia en la reducción de la evaporación fue: Plástico > Corteza pino > Paja trigo > Residuo poda viña > Geotextil > Desnudo.

En relación al suelo desnudo, que alcanzó una evaporación media de 1.5 mm día^{-1} en los primeros cinco días de evaporación, el porcentaje de reducción de la evaporación fue muy alto con el plástico (reducción del 80%), moderado con la corteza de pino (reducción del 47%), bajo con la paja de trigo (reducción del 27%) y muy bajo con el residuo de poda de viña (reducción del 13%) y, en particular, con el geotextil (reducción de tan solo el 7%).

- 2- En el ensayo en campo con miniparcelas sin cultivo de 1.4 m^2 regadas por goteo en tres ciclos de riego y sujetas a seis acolchados y cuatro repeticiones, la medida continua del potencial matricial del suelo (Ψ_m) con las sondas Watermark[®] instaladas a 5 cm de profundidad fue consistente pero con unas desviaciones estándar de las medias de cada tratamiento relativamente altas. Las medidas de la humedad gravimétrica del suelo (HG) en los muestreos de suelo tomados en tres períodos de cada ciclo de riego también fueron consistentes y con unas desviaciones estándar de las medias de cada tratamiento relativamente bajas. Sin embargo los resultados de evaporación de los tratamientos de acolchado obtenidos en cada uno de los tres ciclos de riego estudiados presentaron algunas diferencias importantes debido a las diferentes dosis de riego aplicadas. Esta es una razón relevante por la que los tratamientos en el ensayo de campo no fueron significativamente diferentes en todos los casos. Asimismo, las evaporaciones calculadas en algunos tratamientos y ciclos

de riego pudieron estar sobrestimadas al existir un flujo potencial de agua descendente por debajo de la profundidad de medida de 30 cm en aquellos casos con humedades del suelo relativamente elevadas y especialmente en el tratamiento de acolchado plástico. A pesar de las limitaciones señaladas, el Ψ_m y la HG estuvieron lineal y positivamente correlacionados ($P < 0.001$).

- 3- Por las razones indicadas en el punto anterior, los resultados de evaporación obtenidos en el ensayo de campo estuvieron sujetos a ciertas incertidumbres. A pesar de ello, se han establecido las siguientes conclusiones consistentes: (a) el suelo desnudo tuvo una evaporación significativamente mayor ($P < 0.05$) que la de los suelos sujetos a cualquier tipo de acolchado, (2) los suelos acolchados tuvieron unas evaporaciones no significativamente diferentes entre si, y (3) a pesar de la no significación estadística, cuantitativamente el suelo bajo plástico tuvo generalmente la menor evaporación seguido de la del tratamiento de residuos de poda, en tanto que el tratamiento geotextil tuvo generalmente la mayor evaporación de los cinco sistemas de acolchado analizados. Aparentemente, el geotextil poroso en contacto directo con el suelo húmedo absorbe el agua del suelo y la evapora más fácilmente que el resto de acolchados analizados.
- 4- La evaporación y la HG están significativamente correlacionados ($P < 0.05$), de tal manera que la evaporación disminuye con la disminución de la humedad del suelo. Tal como cabe esperar, la evaporación es mayor y disminuye más por descenso unidad de HG en el suelo desnudo que en los suelos acolchados debido a la mayor demanda evaporativa del suelo desnudo. La eficiencia del acolchado para reducir la evaporación disminuye de forma apreciable conforme menor es la humedad del suelo, ya que la demanda evaporativa de la atmósfera deja de ser relevante en dichas circunstancias de baja humedad del suelo. Así, tomando como referencia la evaporación del suelo desnudo, los acolchados redujeron en promedio la evaporación del suelo en un 67% con una humedad relativamente alta, pero la reducción fue de tan solo un 35% con una humedad algo inferior a capacidad de campo. Por lo tanto, el acolchado reduce la evaporación del suelo de forma muy eficiente en sistemas de riego de alta frecuencia donde el suelo superficial permanece húmedo la mayor parte del tiempo, pero su eficacia disminuye notablemente en sistemas de riego de baja frecuencia donde el suelo permanece seco la mayor parte del tiempo.

**EFFECTOS DEL ACOLCHADO SOBRE DISTINTOS PARÁMETROS
DEL SUELO Y DE LA NECTARINA: ESTUDIO EXPERIMENTAL**

CAPÍTULO IV. EFECTOS DEL ACOLCHADO SOBRE DISTINTOS PARÁMETROS DEL SUELO Y DE LA NECTARINA: ESTUDIO EXPERIMENTAL

IV.1. Introducción y objetivos

El trabajo presentado en este capítulo contempla la instalación, ejecución, seguimiento y análisis de resultados de un ensayo de campo realizado en una plantación de nectarina regada por goteo en la finca experimental de AFRUCCAS.

Los objetivos de este ensayo fueron:

1. Evaluar y comparar el efecto de cuatro sistemas de acolchado del suelo (desnudo, lámina de plástico negro, geotextil de yute y corteza de pino) sobre la evaporación, temperatura, humedad y salinidad del suelo.
2. Analizar el efecto de estos cuatro sistemas de acolchado del suelo sobre la fenología, PAR interceptado, evapotranspiración, densidad de longitud de raíces, diámetro de tronco, potencial hídrico del tallo, frutos (precocidad, crecimiento, número, producción y calidad), eficiencia en el uso del agua y contenido iónico foliar.
3. Establecer las posibles relaciones entre distintas variables del suelo y de la nectarina.

IV.2. Material y Métodos

IV.2.1. Características del ensayo. Diseño experimental

IV.2.1.1. Ubicación del ensayo

El ensayo se efectuó en una parcela experimental de la finca AFRUCCAS situada en el término municipal de Caspe, Zaragoza y con unas coordenadas de 41° 18'12'' de Latitud; 0° 3'8'' E de Longitud y una elevación media de 150 m sobre el nivel del mar (Figura IV.1). En junio de 2001 se formalizó un convenio entre el Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón, Ayuntamiento de Caspe y la Asociación Profesional de Fruticultores de la Comarca de Caspe (AFRUCCAS) para facilitar la experimentación y la transferencia de tecnología en cultivos leñosos mediante el establecimiento de una finca experimental en la Comarca de Caspe. En este convenio, la finca AFRUCCAS propiedad del Ayuntamiento de Caspe fue elegida y acondicionada para la consecución de estos fines. La finca está dirigida por la Unidad de Cultivos Leñosos del Centro de Transferencia Agroalimentaria del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón. Los objetivos concretos de la finca son la evaluación "in situ" de material vegetal de interés comercial y de nuevas técnicas de referencia en el sector frutícola. Este tema tiene un gran interés debido a la crisis de este sector en los últimos años y a la creciente demanda del consumidor por una mayor diferenciación de la calidad y seguridad alimentaria de las frutas.

La finca tiene una superficie de unas 8 hectáreas que se han transformado de secano a regadío mediante un sistema de riego localizado que toma el agua del embalse de Mequinenza. Está ocupada por ocho especies leñosas (Albaricoquero, Cerezo, Ciruelo, Melocotonero, Nectarina, Paraguayo, Almendro y Olivo). La distribución de la superficie de la finca ocupada por distintos ensayos en las distintas especies frutales en el año 2009 se presenta en la Tabla IV.1.

El ensayo de acolchados de suelo en nectarina se ubicó específicamente en la parcela de 0.38 ha correspondiente a los ensayos de sistemas de conducción de la finca AFRUCCAS con los árboles plantados a un marco de 6 m por 2 m.

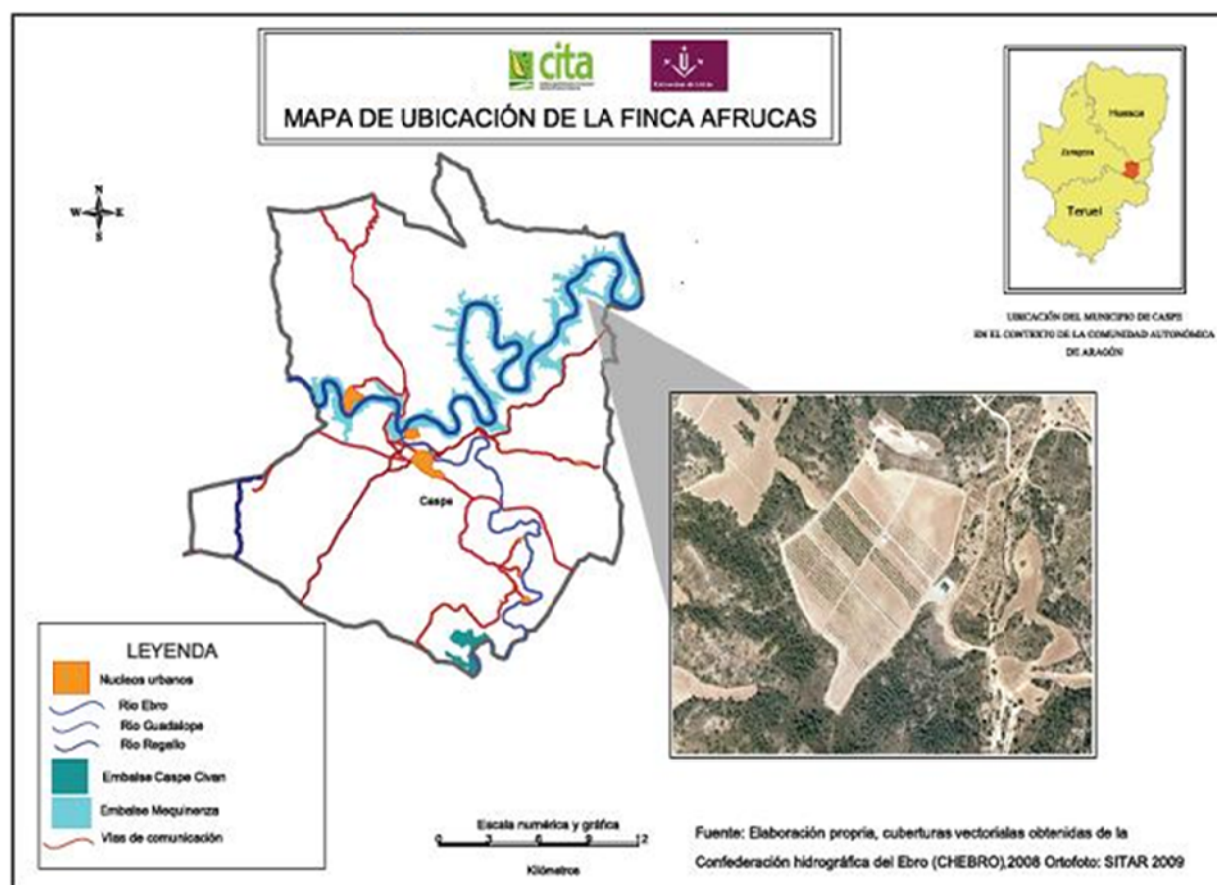


Figura IV.1. Ubicación de la Finca AFRUCCAS situada en el término municipal de Caspe, Zaragoza.

Tabla IV.1. Distribución de la superficie (ha) de la finca AFRUCCAS-Caspe destinada a los ensayos de la campaña 2009 en las distintas especies leñosas (DGA, 2010).

Especie	Colecciones Variedades	Ensayos Patrones	Ensayos Sistemas conducción	Ensayos Riego y fertilización	Total
Albaricoquero	0.29	0.37	0.00	0.32	0.98
Cerezo	0.41	0.48	0.55	0.8	1.72
Ciruelo	0.40	0.00	0.00	0.32	0.71
Melocotonero	0.42	0.28	0.38	0.30	1.38
Nectarina	0.28	0.31	0.38	0.00	0.97
Paraguayos	0.12	0.00	0.00	0.00	0.12
Almendro	0.59	0.00	0.00	0.00	0.59
Olivo	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50
Total	2.99	1.43	1.32	1.21	6.96

IV.2.1.2. Tratamientos de acolchado del suelo

Con el objetivo de comparar el efecto de diferentes materiales de acolchado sobre distintos parámetros del suelo y de la nectarina, el 22 de febrero de 2010 se estableció un ensayo de campo con cuatro tratamientos de acolchado del suelo (Figura IV.2):

1. Control (suelo desnudo).

2. Lámina de plástico negro de un espesor de 400 galgas
3. Geotextil PONPUN VISCOSA YUTE-6.5 de fibras de yute agujadas sobre un TNT de viscosa con una densidad de 650 g m⁻².
4. Corteza de pino en una capa de unos 5 cm de espesor en fragmentos de dimensiones variables con un volumen medio de los fragmentos de corteza de 58 cm³. El coeficiente de variación del volumen de los fragmentos de corteza de pino utilizados fue del 56% en una muestra tomada al comienzo del ensayo.

Los acolchados se establecieron en una franja de 2 m de anchura en la línea de árboles control de la plantación de nectarina.

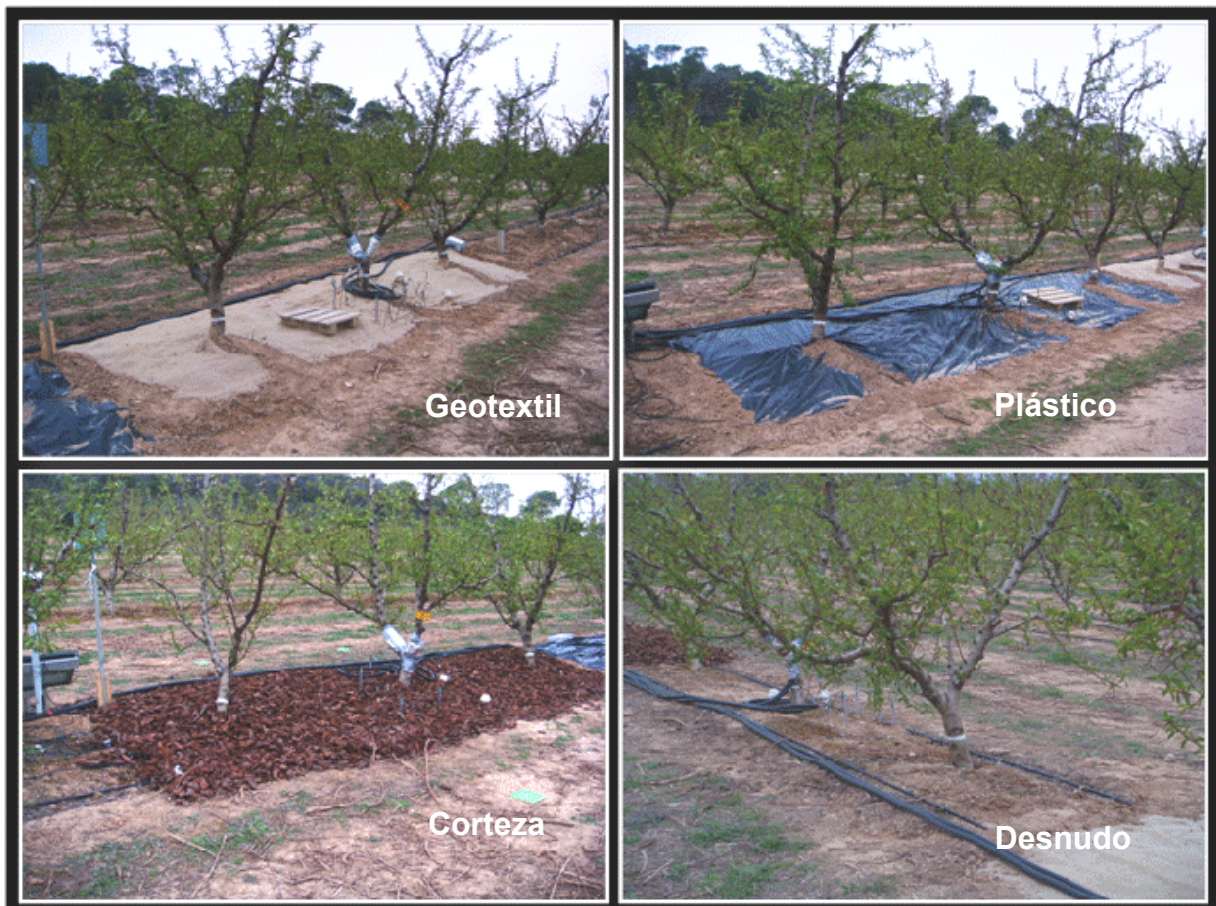


Figura IV.2. Fotografías de las parcelas elementales de los cuatro tratamientos de acolchado de suelo con geotextil de yute, lámina de plástico negro, corteza de pino y suelo desnudo en la parcela de nectarina.

IV.2.1.3. Diseño experimental

La parcela experimental está constituida por tres filas de nectarina. De estas tres filas se seleccionaron las dos primeras que tienen 28 y 30 árboles, respectivamente. Dentro de estas dos filas, hay tres árboles con escaso desarrollo que no se usaron y quedaron entre las distintas repeticiones (Figura IV.3).

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones. La unidad experimental básica (parcela elemental) consistió en 3 árboles, de los que el árbol central es el control y los árboles a cada lado del mismo son guarda. Por lo tanto, cada bloque (repetición) tiene 4 tratamientos x 3 árboles/tratamiento = 12 árboles mientras que el

total de los árboles a controlar es de 16 (1 árbol control/tratamiento x 4 tratamientos x 4 repeticiones = 16 árboles) (Figura IV.3).

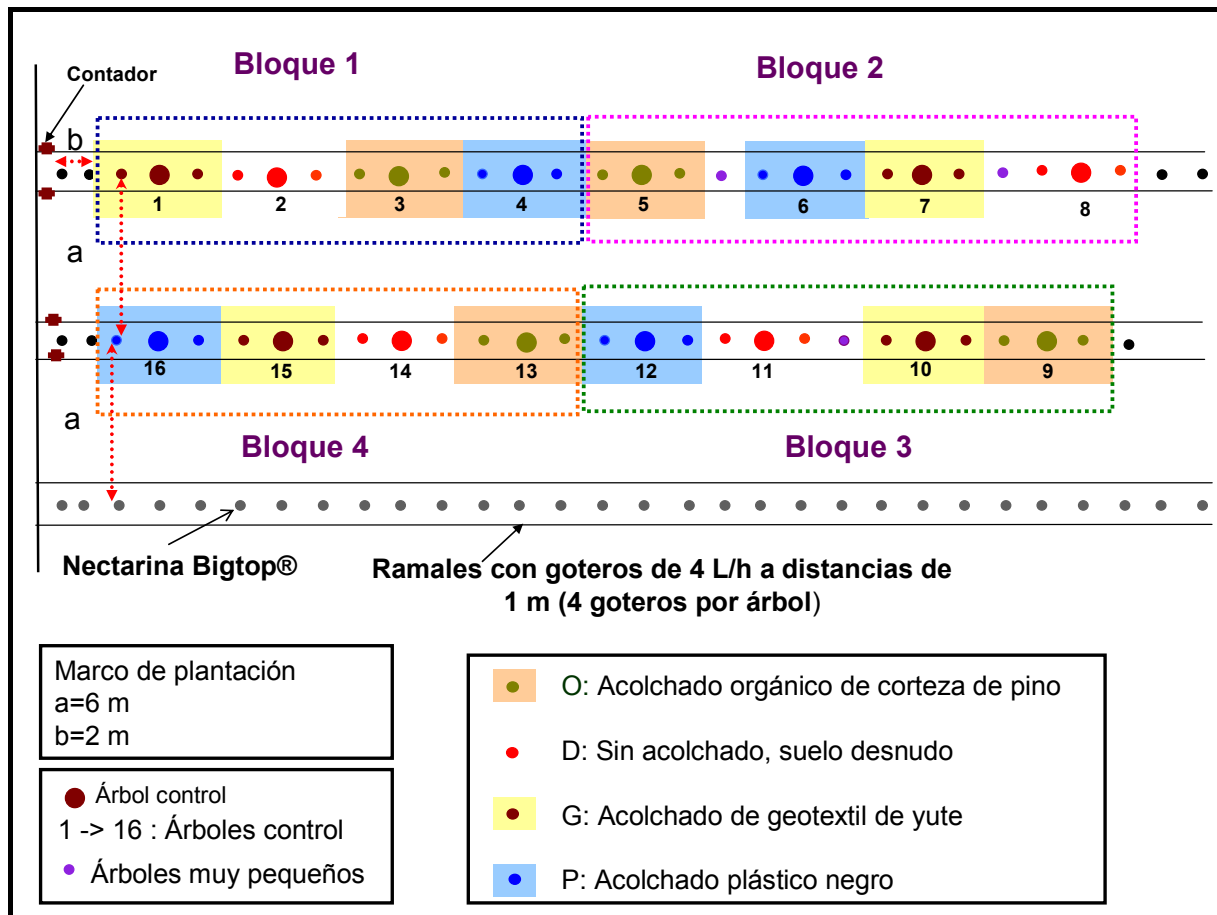


Figura IV.3. Esquema general del ensayo de acolchado del suelo en la parcela experimental de nectarina en la finca AFRUCCAS en Caspe, Zaragoza.

IV.2.2. Clima

A la hora de estudiar la caracterización meteorológica de una zona concreta, resulta muy importante disponer de una serie larga de datos meteorológicos. En el caso de la zona de estudio se dispone de un registro relativamente largo en la estación de Caspe-Ayuntamiento perteneciente a la red de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) con datos de precipitación desde 1960 hasta 2003 y datos de temperatura mínima y máxima desde 1983 hasta 2003.

A partir del año 2003 y hasta la actualidad se dispone de datos meteorológicos mucho más completos proporcionados por la estación automatizada Caspe-red SIAR que registra datos semihorarios de temperatura y humedad relativa del aire, velocidad y dirección del viento, radiación solar total y precipitación. La estación Caspe-red SIAR pertenece a la red del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR) del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Los datos meteorológicos semihorarios, diarios y mensuales así como los valores de la evapotranspiración de referencia (ET₀) determinada por el método de Penman Monteith (Allen et al., 1998) de las estaciones de la red SIAR en Aragón están disponibles en el portal Web de la Oficina del Regante de Aragón (Oficina del Regante, 2013). La Tabla IV.2 presenta las coordenadas UTM así como sus altitudes sobre el nivel del mar de las estaciones meteorológicas de Caspe-Ayuntamiento (AEMET) y de la estación de Caspe-red SIAR (MAGRAMA). Ambas estaciones están ubicadas en el término municipal de Caspe.

Tabla IV.2. Coordenadas UTM (Huso 30) y altitud de las estaciones meteorológicas de Caspe Ayuntamiento perteneciente a la red de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y de la estación de Caspe red SIAR perteneciente a la red del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

ESTACIÓN	ALTITUD (m)	X	Y
Caspe-Ayuntamiento	145 m	748 092.7 m	4 569 044m
Caspe-red SIAR	175 m	745 309.0m	4 576 848m

Para la caracterización climática de la zona de estudio se utilizaron los datos de la estación meteorológica de Caspe-Ayuntamiento (AEMET) desde 1960 hasta 2003 y se completaron con los datos desde 2004 a 2009 de la estación Caspe-red SIAR (MAGRAMA).

Para la caracterización meteorológica del ensayo de acolchado en la parcela experimental de nectarina y la determinación de sus necesidades hídricas (ETc) en los tres años de estudio (2010, 2011 y 2012), se utilizaron los datos meteorológicos diarios de la estación de Caspe-red SIAR (MAGRAMA).

Asimismo, el 17 de marzo de 2010 se instaló una estación meteorológica automatizada modelo Campbell en la propia parcela experimental de nectarina. La estación consta de un anemómetro modelo A100R A100R, una veleta modelo W200P (Vector Instruments, Rhyl, UK) para medir la velocidad del viento, un piranómetro para medir la radiación solar incidente modelo Skye SP 1110 (Campbell Scientific Ltd. UK), un pluviómetro modelo ARG, una sonda Vaisala para medir la temperatura y la humedad relativa del aire, y sondas para la medida de la temperatura del suelo en los distintos tratamientos de acolchado (Figura IV.4). La estación dispone de un Datalogger modelo Campbell CR 23X (Campbell Scientific Ltd, UK) alimentado por una batería y un panel solar de 10 W que registra los datos semihorarios. Los datos de esta estación se utilizaron fundamentalmente para la caracterización del régimen térmico del suelo en los diferentes tratamientos de acolchado y su comparación con la evolución de la temperatura del aire.



Figura IV.4. Foto de la estación meteorológica instalada en el ensayo de acolchado de nectarina.

IV.2.3. Riego

IV.2.3.1. Volumen de riego

- **Medidas del volumen de riego**

El agua de riego proviene de una elevación del pantano de Mequinenza. La parcela experimental de nectarina dispone de un sistema de riego localizado provisto de dos ramales portagoterros por línea de árboles. En este ensayo se utilizaron unas tuberías portagoterros de polietileno (PE) de 16 mm de diámetro exterior instaladas sobre el suelo y situadas a 0.5 m a ambos lados de las líneas de árboles en las que se pincharon unos goteros autocompensantes de 4 L/h a equidistancias de 1 m de forma que cada árbol quedó en el centro del cuadro formado por cuatro goteros. Los ramales portagoterros se instalaron en el fondo de un pequeño surco practicado en el suelo, de unos 6 cm de profundidad, de forma que el agua de riego aplicada por los goteros se distribuía uniformemente a lo largo del pequeño surco y mojaba el suelo en dos franjas paralelas a la línea de árboles.

Las cantidades aplicadas de agua de riego se midieron semanalmente en contadores volumétricos instalados en cada ramal portagoterros. El riego de la parcela experimental ha seguido las prácticas generales de riego de la finca que consiste en la aplicación de 5 a 7 riegos semanales. La programación de riego se efectuó de forma que las necesidades hídricas de la plantación experimental de nectarina estuvieron cubiertas por el riego y la precipitación. Las necesidades de riego se determinaron mediante la metodología de FAO y se obtuvieron en el portal Web de la Oficina del Regante de Aragón.

- **Cortes de riego**

Durante los años 2010 y 2011 se hicieron cortes temporales de riego para observar el efecto de un déficit de riego moderado sobre el estado hídrico del suelo y de los árboles. En el año 2010 se hicieron dos cortes de riego, el primero de 3 días (31/07/2010 a 2/08/2010) y el segundo de 8 días (19/08/2010 a 26/08/2010). En el año 2011 se hizo un corte de riego de 7 días de duración (14/07/2011 a 20/07/2011).

- **Fertiriego y abonos**

La finca AFRUCCAS dispone de una estación central de control de riego y fertilizantes donde se preparan las soluciones fertilizantes que son incorporadas al agua de riego. Las necesidades de fertilizantes de la plantación de nectarina se cubrieron con aportaciones de abono complejo Hakaphos (15-10-15) en los meses de abril, mayo y junio, y abono Hakaphos (15-5-30) en julio, agosto y septiembre.

Las aportaciones de fertilizantes cubrieron las necesidades de la plantación. La Tabla IV.3 presenta las exportaciones medias de la nectarina y las Tablas IV.4 y IV.5 presentan los valores de la riqueza de los fertilizantes empleados y las aportaciones realizadas.

Tabla IV.3. Exportaciones de nutrientes por el cultivo de nectarina. UF indica unidades fertilizantes.

Elemento	Equilibrio	UF/ha
N	1	87
P ₂ O ₅	0.5	43
K ₂ O	1.3	116

Tabla IV.4. Tipo de fertilizantes comerciales aplicados en cada periodo del ensayo de nectarina.

Tipo	Periodo	Riqueza (%)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Hakaphos (15-10-15)	Abril, Mayo y Junio	15	10	15
Hakaphos (15-5-30)	Julio, Agosto y Septiembre	15	5	30

Tabla IV.5. Aportación media de abono comercial en cada quincena de abril a septiembre durante los años 2010, 2011 y 2012 en el ensayo de nectarina (Kg/ha).

Tipo Abono	Abril		Mayo		Junio		Total
	1 ^a Quinc	2 ^a Quinc	1 ^a Quinc	2 ^a Quinc	1 ^a Quinc	2 ^a Quinc	
Hakaphos (15-10-15)	22	43	70	83	72	71	361
	Julio		Agosto		Septiembre		
	1 ^a Quinc	2 ^a Quinc	1 ^a Quinc	2 ^a Quinc	1 ^a Quinc	2 ^a Quinc	
Hakaphos (15-5-30)	58	38	29	29	37	30	221

IV.2.3.2. Calidad del agua de riego

En 2010 y 2011, la conductividad eléctrica (CE) del agua de riego se midió semanalmente en el laboratorio de la Unidad de Suelos y Riegos del CITA, mientras que en 2012, estas medidas se efectuaron en un intervalo de tiempo de en torno a dos semanas. Los iones mayoritarios (Na, Ca, Mg, HCO₃, SO₄, Cl) se midieron en tres fechas correspondientes al inicio, mitad y final del ensayo en un laboratorio comercial (Applus Agroambiental, Sidamón, Lleida, España). En 2010, los análisis se realizaron el 26 de marzo, 1 de julio y 29 de septiembre, en 2011 el 5 de abril, 14 de junio y 31 de agosto, y en 2012 el 30 de marzo, 6 de junio y 21 de agosto.

IV.2.4. Suelo

IV.2.4.1. Caracterización

Según la clasificación de la FAO (1977) el suelo de la parcela de nectarina es un Cambisol, término que hace referencia a la diferenciación de horizontes manifestados por cambios en el color, la estructura o el lavado de carbonatos, entre otros. Se desarrollan sobre materiales de alteración procedentes de un amplio abanico de rocas, destacando los depósitos de carácter eólico, aluvial o coluvial, y aparecen sobre todas las morfologías, climas y tipos de vegetación. El perfil típico es del tipo A/B/C donde el horizonte B se caracteriza por una débil a moderada alteración del material original y por una iluviación débil que se refleja en la ausencia de cantidades apreciables de arcilla, materia orgánica y compuestos de hierro y aluminio de origen iluvial. En la finca experimental donde se desarrolló el ensayo, el suelo está desarrollado sobre areniscas y lutitas del terciario, a partir de coluviones de ladera.

Para la caracterización físico-química del suelo se tomaron muestras al inicio del ensayo en el mes de marzo de 2010. Las muestras se recogieron en 8 puntos repartidos a lo largo de la parcela (2 por bloque) y a 3 profundidades (0-30, 30-60, 60-90 cm) (Figura IV.5). El número total de muestras fue de 24. La humedad gravimétrica en el momento de la toma de

muestras se midió en el laboratorio de la Unidad de Suelos y Riegos del CITA inmediatamente después de la recogida de muestras siguiendo el procedimiento clásico mediante pesada antes y después de secado en estufa a 105 °C. Otra parte de las muestras de suelo se secaron al aire, se molieron y se tamizaron por tamiz de 2 mm para la determinación de la C_{Ee}, C_{le} y N_{ae} en el extracto saturado, la capacidad de campo (CC), el punto de marchitez (PM) y el yeso cuantitativo. La CC y PM de las muestras de suelo se determinaron en placas Richards a presiones de 33 y 1500 KPa, respectivamente.



Figura IV.5. Fotos de las muestras de suelo recogidas en la parcela experimental del ensayo de acolchado en nectarina.

En ambas fotos de la Figura IV.5 se observa el color mucho más claro del suelo al aumentar la profundidad de muestreo debido a su mayor contenido de yeso.

Adicionalmente, una parte de estas muestras tamizadas, correspondientes al mismo bloque de la parcela experimental se agruparon y mezclaron, quedando un total de 12 muestras [1 muestreo por bloque (mezcla de 2 muestras) x 4 bloques x 1 fecha de muestreo en Marzo x 3 profundidades suelo (0-30, 30-60, 60-90 cm)] que se enviaron al Laboratorio de Applus Agroambiental para el análisis de textura (Arena, Limo, Arcilla) y Materia Orgánica oxidable.

Para profundizar en el análisis del suelo de la zona de estudio, se practicó una calicata (Figura IV.6) con el fin de describir el perfil de suelo. Dicha descripción fue realizada por G. Carrillo, ingeniero agrónomo especialista en edafología. La calicata tuvo una profundidad y una anchura de un metro. En esta calicata tres paredes se dejaron verticales y la cuarta se perfiló en rampa para acceder fácilmente a la misma. La descripción del suelo se efectuó en la pared opuesta a la rampa.



Figura IV.6. Secuencia de horizontes: Ap-Bw-Bwk-C en la calicata del suelo efectuada en la parcela de nectarina en la finca AFRUCCAS de Caspe.

El estudio del perfil del suelo y la toma de muestras se basó en la diferenciación e identificación de los horizontes que lo forman. La identificación de los horizontes del suelo se realizó en base al color, pedregosidad, textura al tacto, estructura de las diferentes capas, pH, conductividad eléctrica, presencia de yeso, y contenido del suelo en materias orgánica, entre otras.

Una vez diferenciados los horizontes se tomaron muestras de cada uno de ellos que una vez preparadas se enviaron al Laboratorio Applus Agroambiental para los análisis físico-químicos. Los resultados analíticos así como la descripción del perfil se detallan en el estudio de la calicata hecha en la parcela del ensayo de nectarina. La Tabla IV.6 presenta el informe de dicha calicata.

Tabla IV.6. Informe de la descripción de la calicata del suelo en la parcela de nectarina en la finca AFRUCCAS de Caspe

Fecha descripción:	27/05/2010	AFLORAMIENTOS
Descriptor	G. Carrillo	Abundancia (%): No hay
Paraje:	Mas de la punta	Distancia media (m): -
Municipio:	Caspe	Naturaleza: -
CARTOGRAFIA		GRAVEROSIDAD SUPERFICIAL
Hoja 1:5.000:	44207	Abundancia (%): No hay
Sistema de proyección:	UTM.ED50	Naturaleza: -
Coordenada X:	255845	PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL
Coordenada Y:	4578148	Abundancia (%): No hay
Z (m):	152	Naturaleza: -
TELEDETECCIÓN		
Tipo:		COSTRA SUPERFICIAL
Propietario:		Espesor: No hay
AGUA DEL SUELO		Consistencia: -
Régimen de humedad del suelo:	Xérico	Material originario: DTF
Clase de drenaje:	Bien drenado	
Estado de humedad:	Ligeramente húmedo	Material subyacente: Arenisca
Nivel freático (cm):	Inaccesible	
CRAD (mm/1,5m):	224	Profundidad efectiva (cm): 110
GEOMORFOLOGIA		
Escala de observación:	Hectométrica	Salinidad: No salino
Forma del relieve:	Ladera	
Modificación de la forma:-		CLASIFICACIÓN S.S.S. (2006):
Dinamica de la forma:	Estable	Haploxerept cálcico, franca fina, mezclada, térmica
Intensidad de procesos:	Inapreciable	CLASIFICACIÓN W.R.B. (2006):
Tipo de pendiente:	Simple	Cambisol háplico
Morfología local:	Perfil situado en una área rectilínea	Longitud (m): 200
Situación del perfil:	Tercio superior de la forma	USOS DEL SUELO
Pendiente general (%):	Fuerte (10-20%)	Vegetación: Nectarina
Pendiente local (%):	Fuerte (10-20%)	Usos del suelo: Agrícola
Orientación:	NE-E	Tecnología de suelos: Riego por goteo

IV.2.4.2. Evaporación del suelo medida por microlisimetría

La evolución de la tasa de evaporación de un suelo inicialmente equilibrado a una humedad equivalente a “capacidad de campo” se ha efectuado mediante sucesivas pesadas de microlisímetros (ML) instalados en la parcela experimental de nectarina.

Los ML se localizaron en tres posiciones (línea de árboles, línea de goteros y calle) de tres tratamientos de acolchado (suelo desnudo, acolchado de geotextil de yute y acolchado de corteza de pino) con tres repeticiones por tratamiento. En la línea de árboles se instalaron dos ML (a 0.5 y 1.0 m del árbol respectivamente), en la línea de goteros dos ML (junto al gotero y a 0.5 m del gotero respectivamente), y en la calle dos ML (a 1.5 y 2.5 m de la línea de árboles respectivamente) (Figura IV.7). El número total de ML utilizados en el ensayo fue de 6 ML x 3 tratamientos x 3 repeticiones = 54 ML.

Las filas de árboles de nectarina tienen dirección NO-SE. Los ML se instalaron en el lado SO de la línea de árboles y entre el árbol control y el árbol del lado NO de cada repetición para evitar las interferencias de la instrumentación existente en el árbol central de cada repetición.

Las posiciones de los ML han tratado de representar las distintas áreas sombreadas por el árbol y humedecidas por los goteros del marco asignado a un árbol (6 x 2 m) (Figura IV.7). En el marco de un árbol hay zonas sombreadas de humedad baja en la línea de árboles (posiciones 1 y 2), zonas sombreadas de humedad alta en la línea de goteros (posiciones 3 y 4), y zonas secas que se encuentran en la calle y que solo se humedecen en caso de lluvia (posición 5 parcialmente sombreada y posición 6 soleada).

Se usaron ML cilíndricos de polietileno blanco de 80 mm de diámetro exterior, 76 mm de diámetro interior y 100 mm de altura (Figura IV.8). El material utilizado minimiza la conducción del calor desde la atmósfera hacia el suelo dentro del ML. En la parte superior de los ML se instaló un asa de alambre para facilitar su extracción del suelo.

Para la instalación de los ML en sus respectivas posiciones, se practicó previamente un agujero en el suelo de 100 mm de profundidad y de un diámetro de alrededor de 90 mm en el que se introdujo una carcasa de tubería de PVC gris de 90 mm de diámetro exterior, 86 mm de diámetro interior y 100 mm de profundidad (Figura IV.8). La función de la carcasa fue la de facilitar la colocación y extracción de los ML.

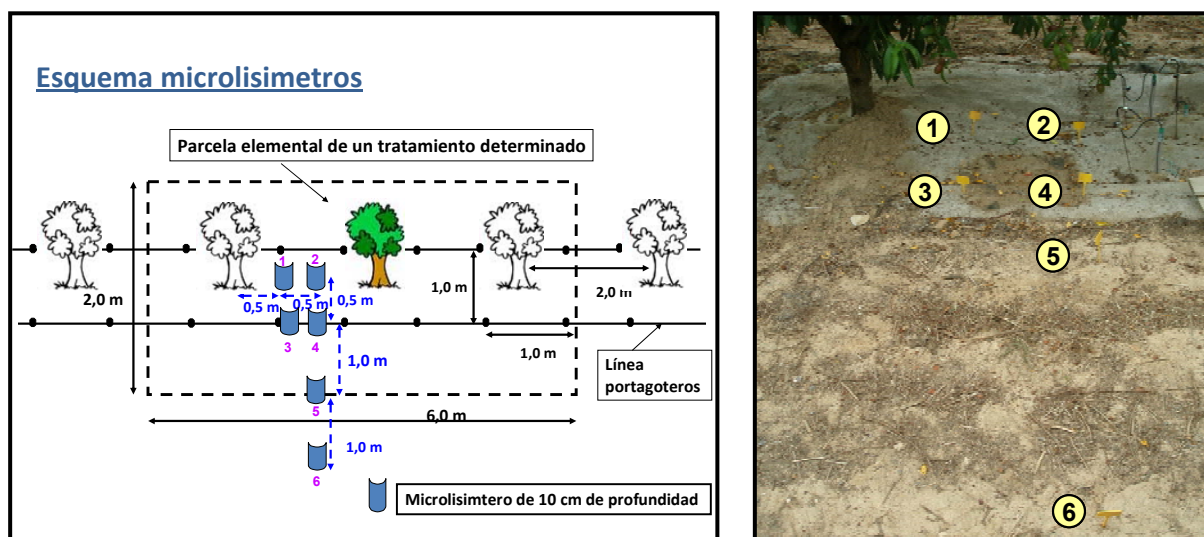


Figura IV.7. Esquema de las posiciones de los seis ML instalados en cada unidad experimental: 1 y 2 en la línea de árboles, 3 y 4 en la línea de goteros, y 5 y 6 en la calle a dos distancias (1.5 y 2.5 m) de la línea de árboles.

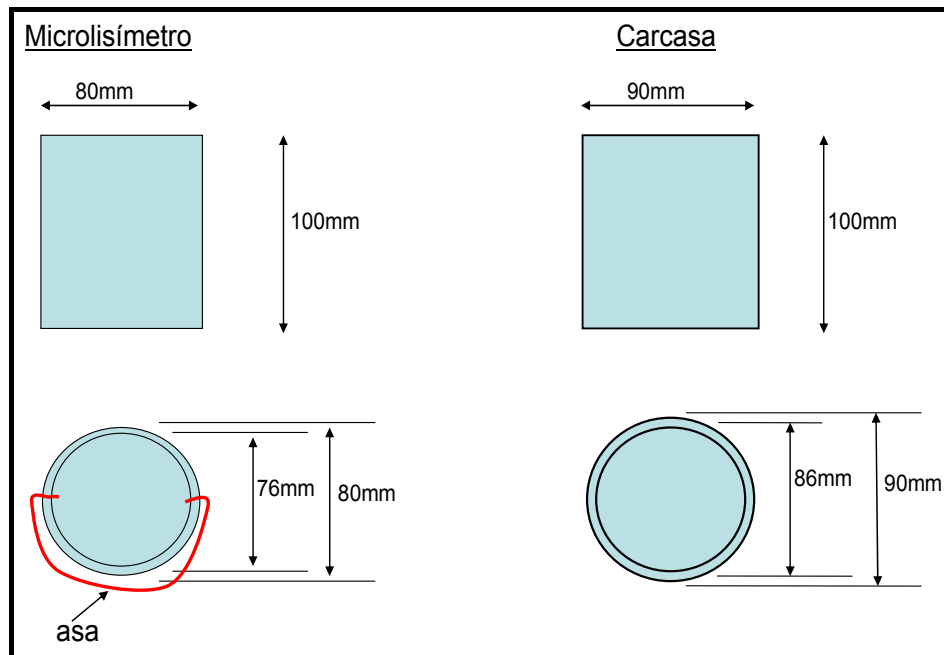


Figura IV.8. Dimensiones del microlisímetro (ML) y de la carcasa introducida en el suelo en la que se coloca el ML.

Los ML se llenaron con suelo inalterado clavándolos cuidadosamente por su base afilada en zonas próximas a goteros situados fuera de la zona experimental en un día posterior a un evento de riego. De esta manera, el suelo de los ML tenía una humedad inicial igual a capacidad de campo. Una vez extraídos del suelo, los ML se taparon por su base inferior con una lámina de polietileno negro que se sujetaba con cinta adhesiva (Figura IV.9). Los ML se instalaron en las posiciones de medida en los distintos tratamientos de acolchado y mediante sucesivas medidas de su peso se obtuvo la evaporación del suelo. Las diferencias consecutivas de peso de los ML son únicamente atribuibles a pérdidas de agua por evaporación ya que no existen otras entradas o salidas de agua en los mismos en ausencia de lluvias.

La Figura IV.10 muestra que el espacio entre los ML y las carcasas donde se introducían era de tan solo unos 3 mm. Para poder instalar y sacar los ML en el tratamiento de geotextil de yute, se practicó una abertura de unos 10 x 20 cm en el mismo (Figura IV.9). En el tratamiento de corteza de pino se colocó una malla metálica de unos 30 x 30 cm encima de los ML sobre la que se dispusieron los trozos de corteza para evitar la alteración de la superficie del suelo en el ML al retirar la corteza en su extracción para la pesada (Figura IV.10).

Los ML se pesaron en el campo mediante una balanza portátil de precisión ± 0.01 g (Figura IV.11). La primera pesada se efectuó en el primer día del comienzo de los ensayos (suelo a capacidad de campo). Después de pesados, los ML se colocaron en sus respectivas carcasas. Periódicamente, los ML se sacaban de las mismas, se pesaban y se volvían a colocar en sus carcasas. La evaporación acumulada se obtuvo por diferencia de peso entre el peso inicial de los ML y el peso final en el periodo considerado.

Se realizaron dos ensayos de medida de la evaporación del suelo, el primero del 27 de junio al 7 de julio de 2011, y el segundo del 26 de julio al 25 de agosto de 2011. La duración del primer ensayo (ensayo 1) fue de tan solo 10 días ya que se interrumpió al producirse una precipitación el 12/07/2011. La duración del segundo ensayo (ensayo 2) fue de 30 días, hasta que la evaporación en los distintos ML fue prácticamente nula. En este segundo ensayo no hubo ningún evento de precipitación.

Durante el ensayo 1 la temperatura media del aire fue 25.2 °C, la humedad relativa media del aire 45.8%, la velocidad media del viento 2.9 m s⁻¹ y la evapotranspiración de referencia, calculada por el método de Penman Monteith (Allen et al., 1998) 85.3 mm (equivalente a un valor medio diario de 8.5 mm/día). Al final del ensayo hubo unas precipitaciones ligeras de 4.4 mm y el 12/07/2011 hubo una precipitación de 11.4 mm que obligó a finalizar el ensayo.

Durante el ensayo 2 la temperatura media del aire fue 26.5 °C, la humedad relativa media del aire 53.9%, la velocidad media del viento 2.8 m s⁻¹, y la evapotranspiración de referencia 223.8 mm, equivalente a 7.5 mm/día. Durante este ensayo sólo se produjo una muy ligera precipitación de 0.4 mm.



Figura IV.9. ML instalados en el suelo acolchado con geotextil de yute.

Figura IV.10. ML y malla metálica en el suelo acolchado con corteza de pino.



Figura IV.11. Balanza portátil para la pesada de los ML en el ensayo de evaporación.

IV.2.4.3. Temperatura del suelo

Para la determinación de la temperatura del suelo, se instalaron unas sondas de temperatura de suelo a 20 cm de profundidad y a 20 cm del gotero más próximo a cada árbol control (Figura IV.12). En total se instalaron 16 sondas de temperatura (4 tratamientos de acolchado x 4 repeticiones = 16).

Las lecturas de la temperatura del suelo se registraron a intervalos semihorarios en el logger CR23 Campbell de la estación meteorológica instalada en la parcela experimental.

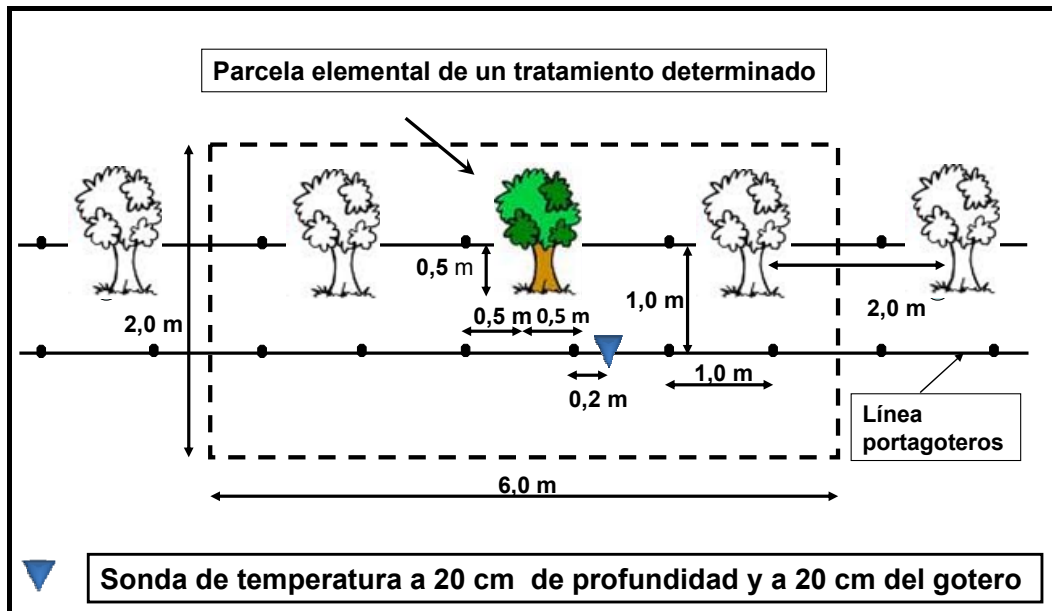


Figura IV.12. Esquema de la situación de la sonda de temperatura en cada parcela elemental de los distintos tratamientos en el ensayo de acolchados del suelo en la parcela de nectarina de la finca AFRUCCAS-Caspe.

IV.2.4.4. Humedad del suelo

La humedad del suelo en el ensayo de acolchados en nectarina se controló mediante toma de muestras gravimétricas y el empleo de sondas que utilizan la técnica de reflectometría de dominio de frecuencias que miden la respuesta del suelo a cambios en la constante dieléctrica. Estas sondas son conocidas como sondas de capacitancia (sondas FDR).

IV.2.4.4.1. Método gravimétrico

La toma de muestras de suelo es el método más utilizado para medir la humedad del suelo y es una referencia para la calibración de los distintos métodos de determinación del contenido hídrico del suelo. En el presente trabajo se realizaron unos muestreos de suelo al inicio y al final de la estación de riego de los años 2010, 2011 y 2012. Los muestreos se hicieron junto al gotero, a 50 cm del gotero y a 50 cm del árbol en la línea de árboles (Figura IV.13). La profundidad de las muestras fue de 0 a 45 cm.

En 2010, el primer muestreo se efectuó tomando como referencia el gotero inferior izquierdo de cada árbol control. Dado que el segundo muestreo no podía efectuarse en esos mismos puntos, ese muestreo se efectuó tomando como referencia el gotero inferior izquierdo del árbol situado a la derecha del control que estaba sujeto al mismo tratamiento de acolchado que el del respectivo árbol control.

En 2011, las muestras se tomaron en el gotero inferior izquierdo del árbol situado a la izquierda del árbol control. El primer muestreo se hizo en la parte superior del gotero mientras que el segundo muestreo se realizó en la parte inferior del gotero.

En 2012, las muestras se tomaron en el gotero inferior derecho del árbol situado a la izquierda del árbol control. El primer muestreo se hizo en la parte superior del gotero mientras que el segundo muestreo se realizó en la parte inferior del gotero.

El número total de muestras recogidas en cada muestreo fue de 16 árboles x 3 muestras/árbol = 48. Las muestras de suelo se llevaron al laboratorio para medir la humedad gravimétrica siguiendo el procedimiento clásico mediante pesadas antes y después de secar en estufa a 105°C.

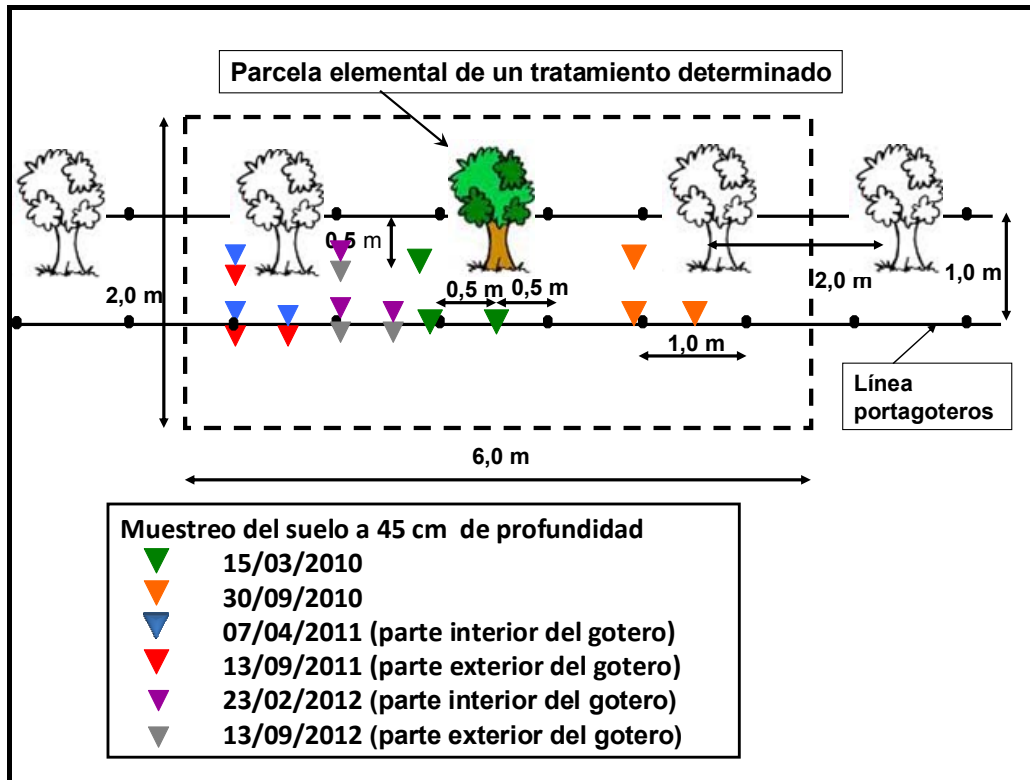


Figura IV.13. Esquema de los muestreos de suelos efectuados en la parcela de nectarina de la finca AFRUCCAS-Caspe en los años 2010, 2011 y 2012.

IV.2.4.4.2. Método FDR

Las técnicas de medida basadas en sondas de capacitancia FDR (Frequency Domain Reflectometry) son de los más extendidos en la actualidad. El método FDR se basa en la relación existente entre el contenido volumétrico de humedad y la constante dieléctrica aparente del medio. Dicha constante se determina a partir del tiempo de tránsito de una señal electromagnética a lo largo de una sonda metálica introducida en el suelo. En el ensayo se utilizaron sondas FDR portátiles y fijas de la casa comercial SENTEK (Sentek Sensor Technologies, Stepney SA 5069, Australia). La sonda portátil utilizada fue el modelo Diviner 2000 y las sondas fijas instaladas fueron del modelo Enviroscan. El sistema Enviroscan, consiste en sondas multisensores y permite obtener datos continuos a distintas profundidades, mientras que la sonda portátil Diviner está compuesta por un único sensor que actúa de idéntica forma y que permite un mayor número de puntos medidos facilitando unas medidas puntuales.

Las sondas Enviroscan y Diviner llevan una calibración universal que resulta útil en la mayor parte de aplicaciones para la gestión de riegos principalmente cuando interesa determinar los cambios en el contenido volumétrico de agua de un suelo (Charlesworth, 2000). Sin embargo en términos absolutos de contenido de agua del suelo es importante efectuar una calibración en la parcela de estudio. Este procedimiento requiere la extracción de muestras de suelo alrededor de los tubos de acceso a diferentes profundidades y a diferentes rangos

de humedad del suelo. La utilización de los datos de humedad del suelo medida con las sondas FDR en esta tesis fue fundamentalmente para la determinación de los cambios en el contenido hídrico y no se realizó una calibración específica para el suelo de la parcela experimental. Sin embargo sí que se efectuó una calibración en laboratorio de todos los sensores de las sondas Enviroscan antes de su instalación en el ensayo. Dicha calibración consistió en medir las lecturas de cada sensor introducido en su tubo de acceso en agua y en el aire.

- **Sonda Diviner 2000**

La sonda portátil Diviner 2000 de la casa SENTEK consiste en una unidad de visualización de datos, y de una sonda portátil (Figura IV.14). Las medidas de humedad se efectúan introduciendo la sonda Diviner en tubos de acceso instalados previamente en los puntos de medida. Estos tubos de acceso son de material plástico de color blanco de 50 mm de diámetro exterior provistos de un tapón en su parte inferior. Los tubos de acceso se insertan verticalmente en el suelo y se tapan con un casquete en su parte superior para evitar la entrada de agua y suciedad.

Para hacer la medida de humedad, la sonda Diviner 2000 se introduce lentamente en los tubos de acceso hasta el fondo del tubo y seguidamente se extrae lentamente. Esto permite realizar un registro de humedad a intervalos de 10 cm en el perfil del suelo, hasta la profundidad a la que llegue la sonda. En el ensayo los tubos de acceso permitieron la medida hasta 80-90 cm de profundidad.

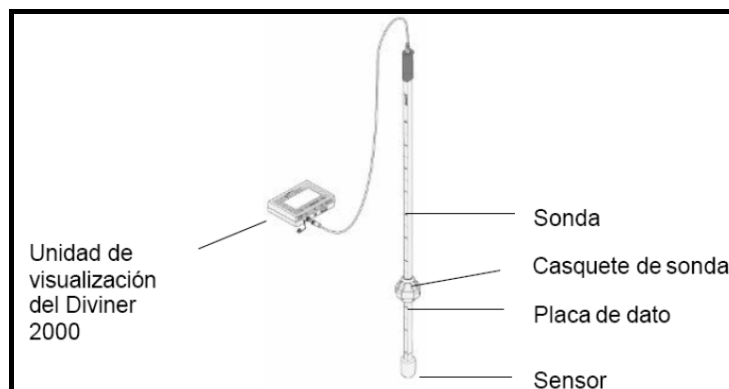


Figura IV.14. Esquema de la sonda Diviner 2000 utilizada en la finca AFRUCCAS-Caspe.

La sonda dispone de una barra de 100 cm de longitud con el sensor de medida en su parte inferior y con marcas cada 10 cm para conocer la profundidad a la que se efectúan las medidas.

En el año 2010, la humedad del suelo se midió en una red de tubos de acceso instalados junto al gotero y a 0.5 m del árbol en la línea de árboles en los bloques 2, 3 y 4 del ensayo de acolchado, de forma que todos los árboles control tuvieron medidas de humedad en estos dos puntos de muestreo con sondas Enviroscan o Diviner. En el año 2011, se instalaron en los cuatro bloques unos tubos de acceso para Diviner a 50 cm del gotero en la línea de goteros.

Las lecturas con la sonda Diviner se efectuaron a intervalos semanales, salvo en 2012 en el que las medidas se efectuaron a intervalos de en torno a dos semanas. Estas lecturas representan el contenido de humedad del suelo en un determinado momento y a una profundidad específica. En el bloque 2 del ensayo se instaló un tubo de acceso a 0.5 m del gotero en cada tratamiento de acolchado mientras que en los bloques 3 y 4 se instalaron dos tubos de acceso uno junto al gotero y el otro a 0.5 m del gotero en la línea de árboles en cada tratamiento. El número total de tubos de acceso para Diviner 2000 fue de 20 tubos (4 en bloque 2 + 8 en bloque 3 + 8 en bloque 4).

• **Sondas Enviroscan**

Con la finalidad de hacer un seguimiento continuo de las variaciones del contenido de humedad del suelo bajo los distintos tratamientos de acolchado, se instalaron sondas Enviroscan con sensores a 10, 20, 30, 50 y 80 cm de profundidad conectados a un data logger (Figura IV.15). Los datos almacenados en los datalogger por las sondas Enviroscan se visualizaron mediante el software irriMAX6 de Sentek.

Estas sondas se instalaron en los bloques 1 y 2 (Figura IV.16) En el bloque 1 se instalaron una sonda junto al gotero y otra a 0.5 m del gotero en la línea de árboles en los cuatro tratamientos sin embargo en el bloque 2 se instaló solo una sonda junto al gotero en los cuatros tratamientos de acolchado de suelo. El número total de sondas fue 12 (8 en bloque 1 + 4 en bloque 2).



Sonda Enviroscan Tubos de acceso Data Logger

Figura IV.15. Fotografías de una sonda Enviroscan (izquierda), tubos de acceso con la sonda instalada (centro) y Data Logger de Sentek para las sondas Enviroscan (derecha) con placa solar.

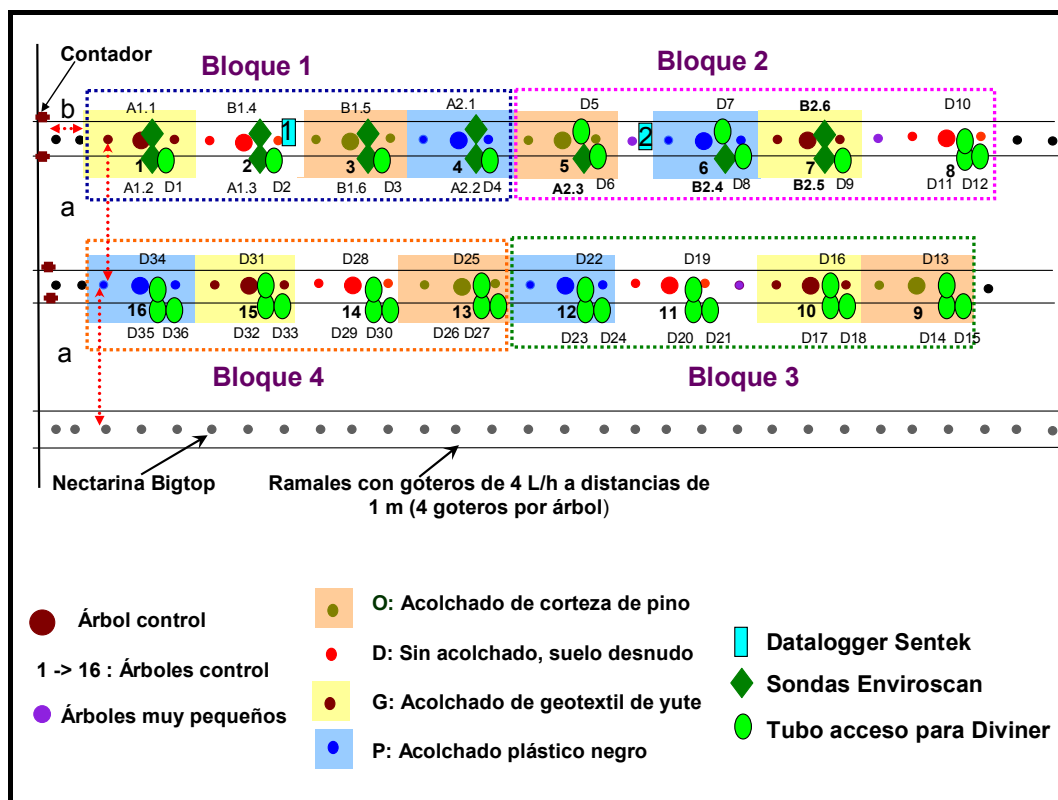


Figura IV.16. Esquema de numeración de los tubos de acceso para la sonda Diviner 2000 y sondas Enviroscan en el ensayo de acolchados del suelo en la parcela de nectarina en la finca AFRUCCAS-Caspe.

IV.2.4.5. Salinidad del suelo

Las muestras de la solución del suelo procedentes de la zona radical se pueden obtener directamente in situ mediante sondas de succión, o bien, mediante métodos indirectos a partir de muestras de suelo llevadas al laboratorio para la determinación de la conductividad eléctrica del extracto saturado (CEe). El empleo de métodos directos como las sondas de succión presenta la ventaja de que al no ser destructivos, permiten obtener de forma cómoda numerosas muestras sobre un mismo punto (Rhoades y Oster, 1986).

IV.2.4.5.1. Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CEe)

La determinación de la CEe se realizó en las mismas muestras de suelo tomadas para la determinación de la humedad gravimétrica (Figura IV.13). Las muestras se secaron al aire, se molieron y se tamizaron por tamiz de 2 mm para el análisis del PS (Porcentaje de saturación), CEe en el extracto saturado, yeso cualitativo y cuantitativo.

IV.2.4.5.2. Conductividad eléctrica de la solución del suelo (CEss)

La determinación de la CEss se realizó en muestras extraídas con sondas de succión. Estas sondas constituyen el instrumento adecuado para recoger “in-situ” muestras de la solución del suelo y realizar a continuación los análisis químicos de interés en laboratorio.

Se utilizaron sondas de succión modelo HI-83900 (HANNA Instruments). Estas sondas o lisímetros de succión están contruidos con una cápsula cerámica porosa conectada a un tubo transparente para la extracción de solución de suelo. Llevan insertado en el tubo un capilar de goma que pasa a través de un tapón de goma y llega hasta la punta cerámica para facilitar la extracción de la solución del suelo (Figura IV.17).

Este método de extracción se basa en la conexión de la fase acuosa del suelo con otra fase acuosa (la cerámica saturada) a la que se aplica el vacío. Al aplicar un vacío de 60 a 70 kPa con una bomba mecánica o manual, la solución del suelo penetra a través de la cerámica en la cámara de aire de la sonda (el tubo de plástico) siempre que el contacto sonda-suelo sea adecuado y siempre que el vacío aplicado sea mayor que el potencial matricial del suelo en contacto con la cápsula cerámica. La solución del suelo se extrae mediante una jeringa de 50 ml.

Las extracciones de la solución del suelo se efectuaron semanalmente en 2010 y 2011 y cada dos semanas en 2012 mediante la aplicación de vacío en un día y su extracción en el día siguiente. Una vez recogidas, las muestras de solución del suelo se llevaron al laboratorio de la Unidad de Suelos y Riegos del CITA para medir la CEss.

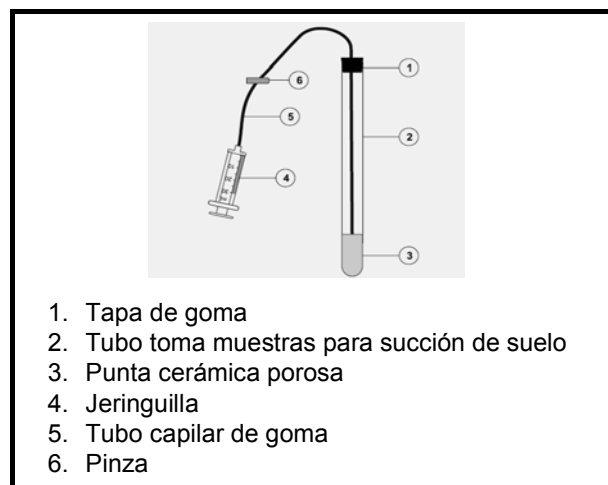


Figura IV.17. Esquema de la sonda de succión utilizada en la finca AFRUCCAS-Caspe.

A lo largo del ciclo de cultivo de la nectarina se controló la CE_{ss} y la composición iónica de la solución de suelo mediante la instalación de 6 sondas de succión en cada árbol control. Dos sondas (situadas a 20 y 40 cm de profundidad) se instalaron junto al gotero inferior izquierdo de cada árbol control, dos sondas (a 20 y 40 cm de profundidad) se instalaron a 50 cm del gotero en la línea de goteros, y dos sondas (a 20 y 40 cm de profundidad) se instalaron en la línea de árboles a 50 cm del gotero y de cada árbol control (Figura IV.18). El número total de sondas de succión instaladas fue de 6 sondas/árbol control x 1 árbol control/tratamiento x 4 tratamientos x 4 repeticiones = 96 sondas de succión.

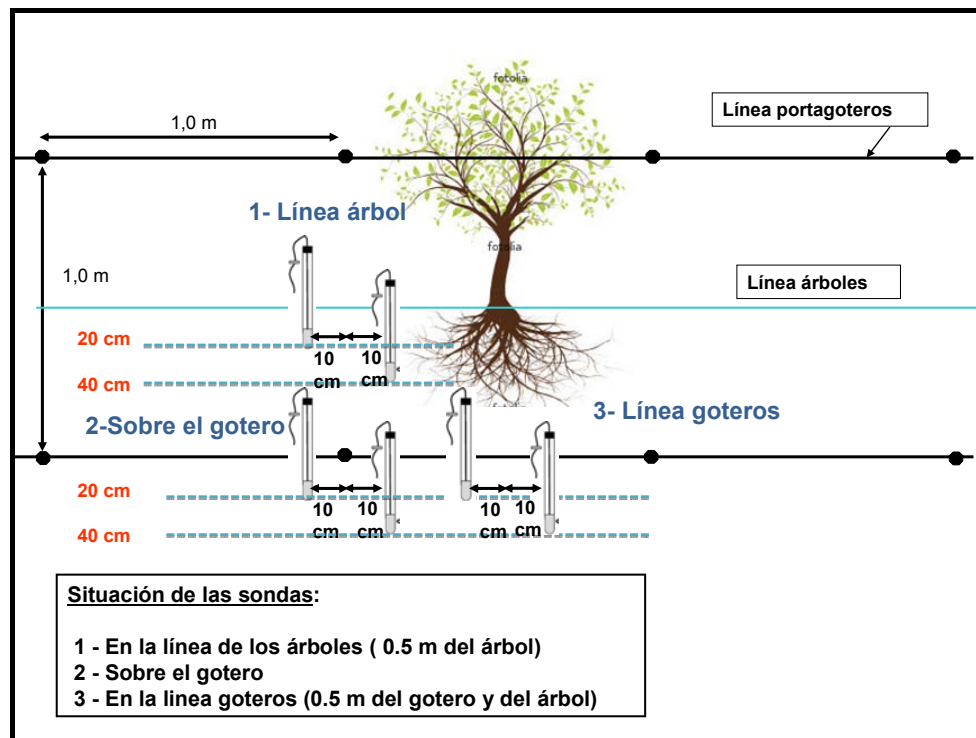


Figura IV.18. Esquema de la situación de las sondas de succión instaladas en cada árbol control en la finca AFRUCCAS-Caspe.

A lo largo de las estaciones de riego de los años 2010 a 2012 existieron valores perdidos de CE_{ss} por la incapacidad de algunas sondas de extraer la solución del suelo, sobre todo en la posición línea de árboles debido a la baja humedad del suelo en dicha posición.

Asimismo, algunas sondas dejaron de funcionar por roturas, pérdidas de saturación de las cerámicas porosas y pérdidas del vacío aplicado. Este último problema fue de particular importancia en 2011 debido a que después de un año en campo, algunos tapones de plástico tenían pequeñas grietas imperceptibles por las que penetraba el aire. Por ello, en 2012 se sustituyeron los tapones y se lubricaron con vaselina, lo que minimizó sustancialmente estas pérdidas de vacío. Por esta razón, se hicieron estimaciones de los valores perdidos de la CE_{ss}. Los procedimientos de dicha estimación se analizan en el apartado de resultados y discusión.

IV.2.5. Nectarina

IV.2.5.1. Material vegetal

La plantación de nectarina variedad Big Top[®] está injertada sobre el patrón híbrido melocotonero x almendro (P. dulcis x P. persica) GF677. Este patrón es uno de los más utilizados y líder del mercado en España, Francia, Italia y Grecia por su buena aptitud en los suelos pesados incluso en suelos con un elevado contenido en caliza (Kester y Asay, 1986;

Moreno et al., 1994), en condiciones de aridez, y también en condiciones de replantación (Marangoni et al., 1985). A pesar de sus características positivas, este patrón no está libre de los problemas asociados sobre todo a su excesivo vigor y susceptibilidad a algunas plagas y enfermedades (Guerriero et al., 1989).

Durante el periodo experimental del ensayo de nectarina y a lo largo del desarrollo del cultivo se realizaron diversas medidas para caracterizar el desarrollo fenológico y el crecimiento de los árboles y de sus frutos en los distintos tratamientos de acolchado.

IV.2.5.2. Fenología

Durante el periodo del ensayo de nectarina se realizó el seguimiento semanal de los estados fenológicos según la escala de Baggiolini en todos los tratamientos de acolchado de suelo. Este seguimiento fue a partir del estado corola visible hinchada hasta la maduración de los frutos de la nectarina.

IV.2.5.3. PAR interceptado y Evapotranspiración

- **PAR interceptado**

Se efectuaron medidas de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) interceptada por el cultivo (PAR_{int}) con un ceptómetro (Sunscan Canopy Analysis System, tipo SS1, Cambridge, England), que dispone de una barra de 1.0 m de longitud con 64 fotocélulas sensibles a la radiación electromagnética. Estas medidas se efectuaron semanalmente en 2010 y 2011 en los cuatro árboles control del bloque 1, situando el ceptómetro a ras de suelo en 18 posiciones, cubriendo un rectángulo de 2m x 6m que corresponde al marco de plantación de la nectarina (Figura IV.19). Se instalaron unas pequeñas placas metálicas en el suelo para facilitar la colocación del ceptómetro en las distintas posiciones. También se efectuaron 2 medidas por encima de los árboles para el control de la radiación incidente. Para minimizar los efectos del ángulo solar, las medidas del PAR se realizaron a mediodía solar en días despejados.

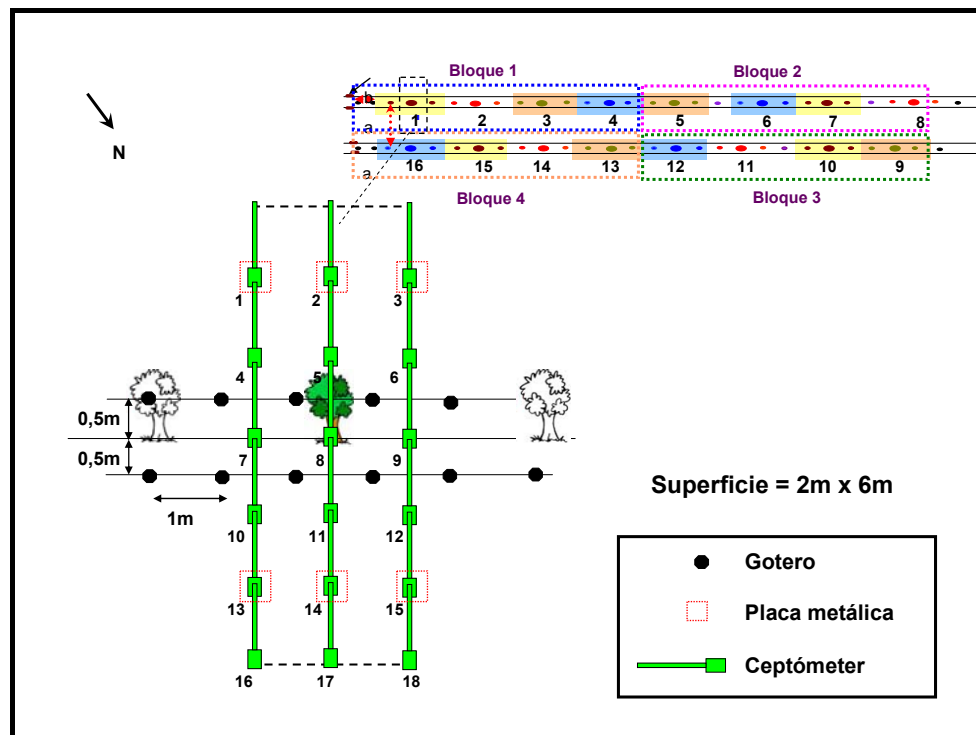


Figura IV.19. Esquema de las medidas del PAR interceptado utilizando un ceptómetro colocado en distintas posiciones en el marco de plantación.

- **Evapotranspiración**

La evapotranspiración de la nectarina (ETc) sobre suelo desnudo se estimó mediante la metodología FAO multiplicando la evapotranspiración de referencia diaria (ETo) por el coeficiente del cultivo Kc de la nectarina. La ETo se calculó a partir de los datos meteorológicos diarios de la estación de Caspe perteneciente a la red del Servicio de Información Agraria del Regadío (SIAR) del Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente utilizando el método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

El coeficiente del cultivo Kc de la nectarina en suelo desnudo se calculó a partir del método empleado por Ayars et al. (2003) en una plantación de melocotonero regada por goteo como función del porcentaje de la radiación solar interceptada por la plantación a mediodía solar mediante la ecuación: $Kc = 1.59 PAR_{int} + 0.082$, donde Kc es el coeficiente del cultivo en tanto por uno y PAR_{int} es la radiación fotosintéticamente activa interceptada en tanto por uno. En 2012, no se midió el PAR interceptado y se estimó en base a las medidas del PAR_{int} en 2010 y 2011 adoptando los datos fenológicos de 2012.

En la nectarina en suelo desnudo se consideró que la transpiración (T) fue el 70% de la ETc y la evaporación (E) el 30% de la ETc. Estas proporciones se eligieron de acuerdo a los resultados observados en distintos trabajos sobre la separación de las medidas de E y T en árboles frutales regados por goteo. Los valores de ETc de la nectarina en los tratamientos de suelo acolchado (plástico negro, geotextil de yute y corteza de pino) se ajustaron teniendo en cuenta el efecto del propio acolchado sobre la E. Se consideró que la transpiración de la nectarina fue la misma en todos los tratamientos de acolchado ya que en los resultados agronómicos de la nectarina no se observó ninguna diferencia significativa de producción entre tratamientos en todos los años del ensayo.

Para el ajuste de los valores de la evaporación (E) en los distintos tipos de acolchado se consideraron los resultados de reducción de la E obtenidos en los ensayos de evaporación del suelo con distintos acolchados en condiciones de laboratorio y en campo efectuados en 2011 (capítulo III de la tesis). Los resultados de este ensayo indican que en todos los casos el suelo desnudo tuvo una evaporación significativamente mayor que la de los acolchados, y el suelo bajo plástico tuvo la menor evaporación de todos los acolchados, aunque solo en algunos casos fue significativa. En definitiva, de acuerdo con los resultados obtenidos en los distintos ensayos de evaporación de la presente tesis y con la bibliografía revisada, se consideró que la evaporación del suelo bajo los acolchados de geotextil, corteza de pino y plástico fue el 90, 50 y 10% de la evaporación del suelo desnudo, respectivamente. La ETc de la nectarina bajo los distintos acolchados se determinó por tanto sumando la E calculada para cada acolchado con la misma T de la nectarina.

IV.2.5.4. Densidad de longitud de raíces

La investigación sobre los sistemas radicales de las plantas en condiciones de campo es complicada porque la matriz de suelo limita la accesibilidad para hacer las observaciones necesarias. Las medidas de la distribución de raíces y su crecimiento se han basado en diferentes métodos tales como el muestreo del suelo en una malla regular y su lavado para separar las raíces (Smith et al., 2000). Esta técnica proporciona una información puntual en un momento determinado del ciclo del cultivo, pero aporta una buena estimación de la distribución de raíces. Típicamente, la distribución radical incluye la biomasa radical o la longitud radical en función de la profundidad del suelo, la distancia al tronco y la posición con las plantas vecinas.

El crecimiento de las raíces se puede expresar, según los objetivos del estudio, como el peso, superficie, volumen, longitud, diámetro, o número de raíces (Bohm, 1979). El parámetro utilizado normalmente para cuantificar la masa radicular es la densidad de longitud de raíces (DLR) que se expresa por la longitud de raíces activas en un volumen de suelo determinado (cm de raíces/cm^3 de suelo) (Klepper, 1992). La DLR es un

parámetro muy útil ya que está estrechamente relacionada con la absorción de agua y nutrientes por la planta (Barnett et al., 1983).

En los primeros trabajos, la DLR se calculaba según el método de Newman (Newman, 1966) modificado por Tennant (1975). Este método se basa en la toma de muestras de suelo, la separación de raíces mediante lavado y el conteo de las intersecciones de las raíces activas, distribuidas al azar, con las líneas de una cuadrícula de dimensiones conocidas. A partir de estos conteos y por medio de relaciones específicas se determina la longitud de raíces en el volumen de suelo utilizado y finalmente se determina la DLR. El mantenimiento de unas condiciones favorables de humedad y salinidad en la zona de raíces es fundamental para conseguir el crecimiento óptimo de las plantaciones frutales.

Los trabajos sobre la variabilidad espacial de la humedad y salinidad del suelo y de la DLR en plantaciones frutales regadas por goteo y sujetas a distintos tratamientos de acolchado son muy escasos. En consecuencia, los objetivos de este trabajo son:

1. Caracterizar la distribución espacial de la humedad gravimétrica (HG), la salinidad (CEe) y la densidad de longitud de raíces (DLR) en la zona de influencia de un gotero próximo a un árbol de nectarina en un suelo desnudo (tratamiento control) y en un suelo bajo acolchado plástico.
2. Comparar el efecto del acolchado plástico en la distribución espacial de la HG, CEe y DLR en relación a la distribución obtenida en el suelo desnudo.
3. Estudiar las posibles relaciones existentes entre HG, CEe y DLR.

IV.2.5.4.1. Muestreo del suelo

La distribución espacial de HG, CEe y DLR en la zona de influencia de los goteros se determinó mediante el muestreo intensivo del suelo en dos fechas posteriores al cosechado de la nectarina en los años 2010 y 2011. En 2010 se muestreó un árbol del tratamiento control (suelo desnudo) y en 2011 se muestrearon dos árboles, uno del tratamiento de suelo desnudo y otro del tratamiento de acolchado plástico. En ambos años se tomaron muestras de suelo a distintas profundidades en una cuadrícula de 25 x 25 cm en una sección representativa del marco de plantación de la nectarina en las que se midieron HG, CEe y DLR.

- **Año 2010**

El muestreo de suelo se efectuó con una barrena tomamuestras de 5 cm de diámetro el 21 de julio junto a un árbol del tratamiento de suelo desnudo. La superficie muestreada consistió en un rectángulo de 3 x 1 m. Tomando como referencia el árbol con coordenadas X, Y = 0, 0, las muestras se tomaron en los nodos de una cuadrícula de 25 x 25 cm hasta una distancia de 100 cm en la dirección X y ± 150 cm en la dirección Y (Figuras IV.20 y IV.21). El número de nodos muestreado fue de 65, 5 en la dirección X por 13 en la dirección Y. Los dos goteros se encuentran en las posiciones (X, Y) = (-50, 50) y (-50, -50). De esta manera, cada gotero queda en el centro de un cuadrado de 100 x 100 cm de lado con 25 nodos muestreados. Se tomaron cuatro muestras cada 20 cm hasta una profundidad de 80 cm. Por lo tanto, el número total de muestras fue de 65 nodos x 4 profundidades = 260 muestras.

En cada muestra homogeneizada se tomaron tres submuestras, la primera para determinar HG, la segunda para determinar CEe y la tercera, de 150 g de peso, para determinar DLR.

Estas últimas submuestras de 150 g se guardaron en nevera a 4°C hasta su procesamiento para la extracción de raíces que se efectuó durante los 15 días posteriores al muestreo aproximadamente.

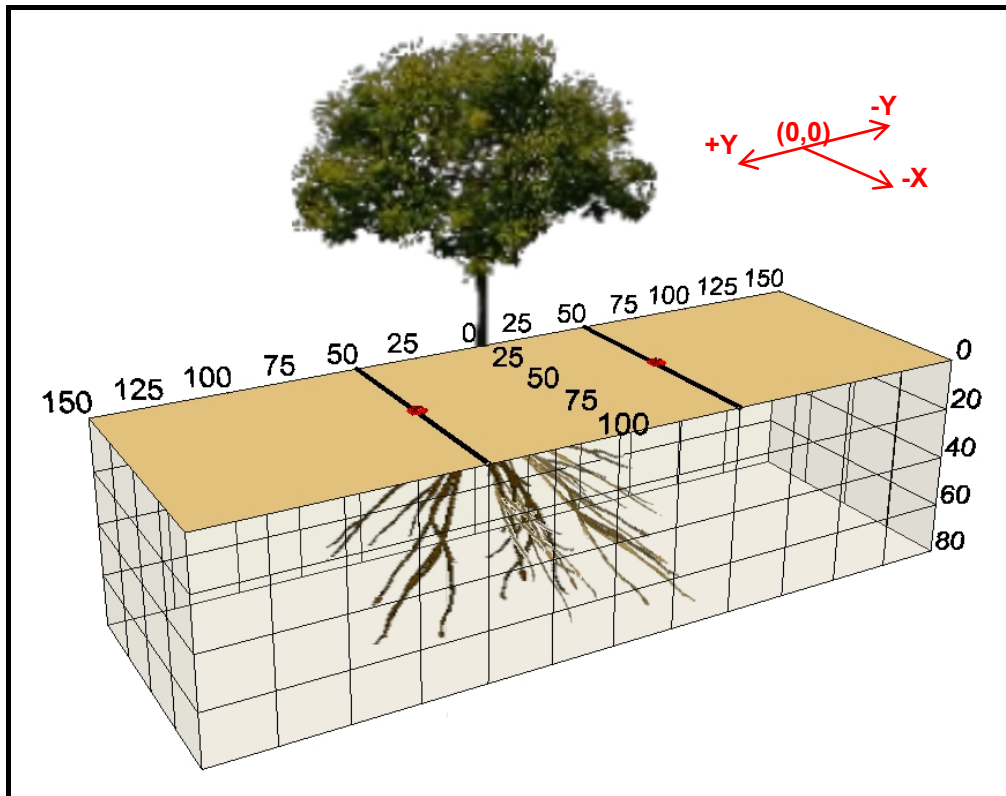


Figura IV.20. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Esquema de la retícula de muestreo del suelo para el análisis de la distribución espacial de la humedad gravimétrica (HG), conductividad eléctrica del extracto saturado (CEe) y densidad de longitud de raíces (DLR). Los puntos rojos indican la posición de los goteros. Los números indican las coordenadas (X, Y) y las profundidades de los puntos de muestreo del suelo (cm).

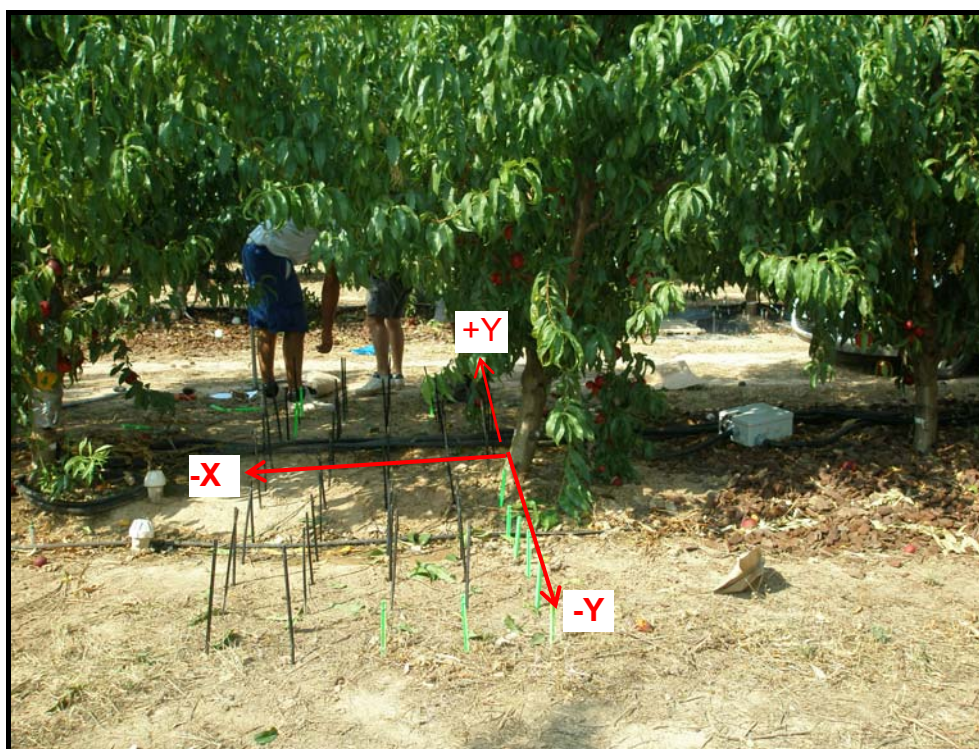


Figura IV.21. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Foto de los nodos de muestreo del suelo ubicados en la retícula de 25 x 25 cm.

- **Año 2011**

En base a los resultados obtenidos en el año 2010, se replanteó el muestreo del suelo que en 2011 se efectuó el 14 de julio en el tratamiento control (suelo desnudo) y en el tratamiento de acolchado plástico. Se seleccionó el suelo bajo plástico por ser de los cuatro tratamientos de acolchado el más diferente al suelo desnudo en los valores de humedad, salinidad y temperatura del suelo.

La superficie muestreada consistió en un cuadrado de 1 x 1 m. Tomando como referencia el árbol con coordenadas X, Y = 0, 0, las muestras se tomaron en los nodos de una cuadrícula de 25 x 25 cm hasta una distancia de 100 cm en la dirección X y 100 cm en la dirección Y (Figura IV.22). El número de nodos muestreado fue de 25, 5 en la dirección X por 5 en la dirección Y, y el gotero se localiza en la posición (X, Y) = (-50, 50). Se tomaron tres muestras cada 20 cm hasta una profundidad de 60 cm. Por lo tanto, el número total de muestras fue de 25 nodos x 3 profundidades x 2 tratamientos = 150 muestras. La reducción en la toma de muestras en la dirección Y así como en profundidad (el muestro de 60-80 cm se eliminó) se basó en los resultados obtenidos en 2010. Los análisis efectuados en las muestras de suelo (HG, CEe y DLR) son los mismos que los del año 2010.

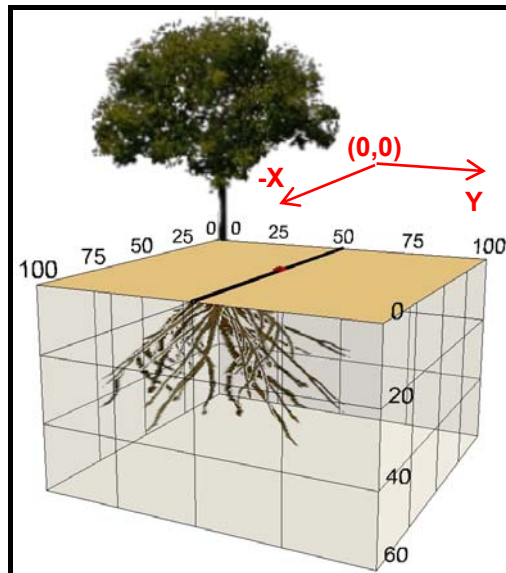


Figura IV.22. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y suelo bajo plástico). Esquema de la retícula de muestreo del suelo para el análisis de la distribución espacial de la humedad gravimétrica (HG), conductividad eléctrica del extracto saturado (CEe) y densidad de longitud de raíces (DLR). El punto rojo indica la posición del gotero. Los números indican las coordenadas (X, Y) y las profundidades de los puntos de muestreo del suelo (cm).

IV.2.5.4.2. Medida de la densidad de longitud de raíces (DLR)

El procedimiento seguido para la obtención y cuantificación de la DLR constó de las siguientes etapas: 1) preparación de la muestra y batido, 2) extracción y tinción de las raíces, 3) escaneado de las placas petri con raíces, 4) conteo de las intersecciones de las raíces con una retícula predeterminada, y 5) determinación de la DLR. La Figura IV.23 resume las etapas señaladas.

- **Preparación de la muestra y batido**

Cada muestra de 150 g de suelo conservada en nevera a 4°C se colocó en una tarrina de plástico con 200 cm³ de agua y 1 g de hexametáfosfato sódico. Tras agitar y dejar reposar 3 minutos, la muestra se batió unos 30 segundos en una batidora con cuchillas mezcladoras no cortantes para conseguir una suspensión de suelo y raíces en el agua (Figura IV.23).

- **Extracción y tinción de las raíces**

Una vez dispersada, la muestra se colocó en un elutriador o hidroseparador de metacrilato que separa las partículas más ligeras de las más pesadas por medio de una corriente de agua. El agua de salida del elutriador se filtró en un tamiz de 0.2 mm de luz sobre el que se recogieron las raíces extraídas. La extracción se prolongó hasta la desaparición de la turbidez en el agua del elutriador. Las raíces recogidas en el tamiz se sumergieron en una solución de agua con rojo de Congo al 1% durante 3 minutos y posteriormente en alcohol del 96% durante 3 minutos para fijar la tinción.

- **Escaneado de las placas petri con las raíces**

Tras la tinción, las raíces se extendieron sobre una placa petri de 14 cm de diámetro de forma que quedaron situadas aleatoriamente en la misma. La placa con las raíces se escaneó con un escáner plano digital hp Scanjet 5590 con una resolución de 200 ppp. El colorante utilizado sirvió para aumentar el contraste de las imágenes de raíces escaneadas. Las muestras con alto contenido de raíces se subdividieron en varias placas petri para facilitar el tratamiento de imágenes. Esta subdivisión evitó o disminuyó la superposición de las raíces y disminuyó el error de estimación de la DLR.

- **Conteo de las intersecciones de las raíces con una retícula predeterminada**

El conteo del número de intersecciones de las raíces colocadas aleatoriamente en una placa petri con una retícula de dimensiones determinadas es la medida clave para la determinación de la DLR. Esta medida se efectuó mediante la superposición de una malla de forma curvilínea (Wulfsohn y Nyengaard, 1999) sobre la imagen escaneada de las raíces utilizando el software Adobe Photoshop v. 7.

		
<p>Muestras de suelo con agua y 1 g de hexametáfosfato sódico</p>	<p>Suspensión de suelo y raíces en batidora</p>	<p>Lavado de las raíces mediante el elutriador</p>
		
<p>Separación de raíces con tamiz</p>	<p>Tinción de raíces</p>	<p>Retícula conteo raíces</p>

Figura IV.23. Etapas de la preparación de las muestras de suelo para la determinación de la densidad de longitud de raíces (DLR): mezcla de la muestra con agua, separación y lavado de raíces, tinción y conteo de las intersecciones de las raíces con la retícula utilizada.

- **Determinación de la DLR**

La longitud total de raíces en cada muestra (L) se determinó mediante la ecuación 1:

$$L = \frac{\sum a}{2} \cdot I \quad (1)$$

donde a/l representa la densidad de la longitud de las líneas de la malla utilizada y I es el número total de intersecciones de las raíces con la retícula utilizada.

En el caso de la malla utilizada, la ecuación (1) se puede simplificar en la siguiente expresión (Wulfsohn y Nyengaard, 1999) (ecuación 2):

$$L = w \cdot I \quad (2)$$

donde w es la distancia que separa los picos de dos líneas sucesivas de la malla igual a 3.1 cm en el caso de la malla utilizada en este trabajo.

La longitud total de raíces en cm se dividió por el volumen del suelo de la muestra en cm³ para obtener la densidad de la longitud de raíces por volumen unitario del suelo (DLR).

IV.2.5.4.3. Mapas de isolíneas de HG, CEe y DLR, y estimas de la CEe media ponderada por la superficie y por la tasa de extracción de agua de la nectarina

Los datos experimentales procedentes del muestreo del suelo se han tratado con el programa SURFER 8.2 (Surface Mapping System) que permite construir mapas de isolíneas.

El método de Kriging se utilizó para la interpolación espacial de datos. Este método permite la elaboración de mapas de isolíneas constituidas por dos ejes cartesianos X e Y (que se corresponden con las coordenadas de los puntos de muestreo de suelo), y una escala de valores Z (HG, CEe y DLR). La distancia entre las isolíneas fue de 5 cm. A partir de estos mapas, SURFER proporciona las medias ponderadas por la superficie de HG, CEe y DLR en cada profundidad de muestreo.

Finalmente, si se acepta que la tasa de absorción depende básicamente de la densidad de longitud de raíces (DLR), la CEe media poderada por la tasa de extracción de agua de las raíces de nectarina (CEe_{mpr}) se calcula a partir de:

$$CEe_{mpr} = \frac{\sum_{i=1}^n CEe_i \cdot DLR_i}{\sum_{i=1}^n DLR_i} \quad (3)$$

donde n es el número de muestras de suelo con medidas de CEe y DLR.

IV.2.5.5. Diámetro de tronco

El diámetro del tronco se determinó dos veces al año (al inicio y al final de cada estación de riego) y en los tres años de estudio, a partir de medidas del perímetro de tronco a una altura sobre el suelo de 20 cm mediante un flexómetro (Figura IV.24). A partir de estos datos se obtuvo el área de la sección transversal del tronco.



Figura IV.24. Marca blanca en el tronco del árbol para la medida del perímetro de tronco.

IV.2.5.6. Potencial hídrico del tallo

El potencial hídrico del tallo de nectarina (Ψ_h) se determinó mediante el uso de una cámara de presión (modelo 3005 Soil Moisture Equipment corporation, Santa Bárbara, CA, EEUU) equipada con un manómetro de presión de ± 0.02 MPa (Figura IV.25). Las determinaciones se realizaron en base a las recomendaciones de Turner y Long (1980). Se eligieron 5 hojas totalmente desarrolladas y libres de rocío en cada árbol control de todos los tratamientos de los bloques 1 y 2. Las hojas se cubrieron con papel de aluminio y con una bolsa de plástico una media hora antes de cortarlas (Figura IV.26). Al cubrir la hoja se detiene el proceso de pérdida de agua y el potencial hídrico de esa hoja se iguala con el potencial hídrico de la ramilla donde está insertada, obteniéndose así el potencial del tallo.

Las medidas del potencial hídrico se realizaron en los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre de los años 2010 y 2011. El número total de medidas en cada año fue: 1 medida/mes x 5 meses x 5 hojas x 4 tratamientos x 2 repeticiones = 200 medidas.



Figura IV.25. Fotografía de la cámara de presión



Figura IV.26. Hoja de nectarina cubierta para determinar el potencial hídrico del tallo

IV.2.5.7. Frutos: precocidad, crecimiento, número, producción, calidad

- **Precocidad**

Una estimación de la precocidad de la producción de nectarina viene dada por el cociente entre la producción de fruta de la primera cosecha y el total de la producción en las distintas cosechas efectuadas.

- **Crecimiento**

En 2010 y 2011, en cada uno de los árboles control de los distintos tratamientos, se marcaron 6 frutos al azar distribuidos en las zonas norte y sur y a tres alturas del árbol (en la parte más alta, central y baja del árbol) sobre los que se realizó el seguimiento semanal del crecimiento hasta la cosecha (Julio).

Las medidas del crecimiento individual de los frutos etiquetados se comenzaron una vez finalizada la caída fisiológica y el aclareo manual de frutos (mayo). En los frutos se midió con calibre digital la altura, diámetro en la sutura y el diámetro perpendicular a la sutura (Figuras IV.27).

El número total de frutos controlados para el seguimiento del desarrollo del fruto en cada año fue de 96 (6 frutos por árbol x 4 tratamientos x 4 repeticiones).

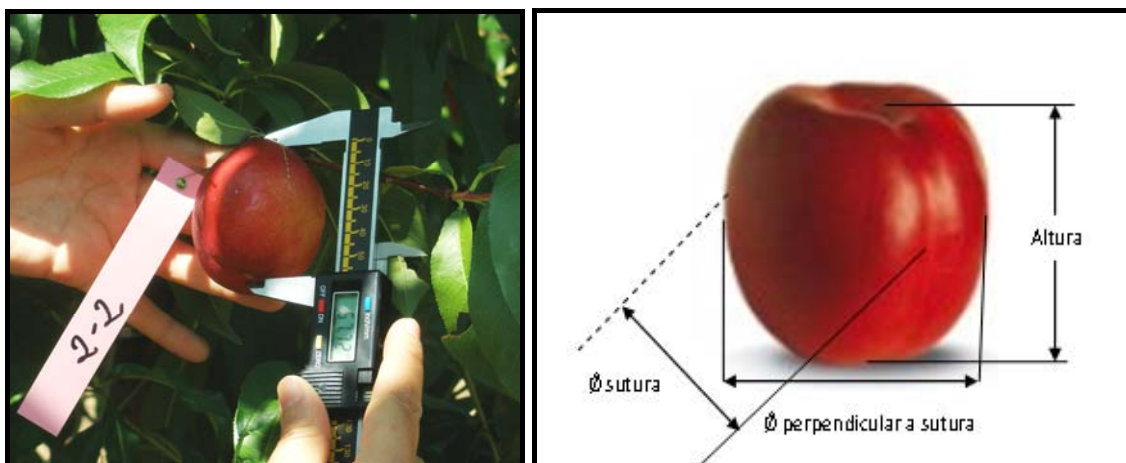


Figura IV.27. Medidas en el fruto de nectarina para determinar su volumen

- **Número**

El número de frutos de la nectarina se ha obtenido dividiendo el peso de la producción total de fruta por el peso medio del fruto.

- **Producción**

En los tres años del ensayo de nectarina, la recolección se realizó de forma escalonada, en 3 fechas (pasadas) atendiendo a criterios de calidad de la nectarina. En cada una de las recolecciones se pesaron los frutos de cada árbol individualmente (Figura IV.28).

En la primera recolección se recogió alrededor del 50% de la producción total, y el resto en la segunda y tercera pasadas.



Figura IV.28. Vista de la parcela de la finca AFRUCCAS-Caspe durante la cosecha de la nectarina.

- **Calidad**

En los tres años del ensayo de nectarina, se tomó una muestra de 10 frutos de cada árbol control en cada recolección. En cada uno de estos frutos se determinó el peso, volumen, pH, firmeza, color de piel externo en fruto, pH, contenido en azúcares y acidez en el zumo.

El peso individual de cada fruto se determinó con una balanza electrónica con precisión de 0.01 g. El volumen del fruto se midió como el volumen de un elipsoide utilizando las medidas descritas en la Figura IV.27. Dichas medidas se efectuaron con calibre digital electrónico. El pH se determinó mediante un pHmetro.

La firmeza del fruto se midió a través de la resistencia a la deformación de los frutos con un Durofel (Agro-Technologie, Francia), con punta de 0.25 mm, tomando dos medidas por fruto en la zona ecuatorial, utilizando como unidad de medida el Índice Durofel (Hilaire et al., 2000). La firmeza es uno de los métodos físico-químicos que mejor se correlaciona con el estado de maduración de la fruta, especialmente en melocotón y nectarina (Crisosto, 1994) ya que la dureza de la pulpa está directamente relacionada con la madurez de la muestra.

Para determinar los parámetros CIELab del color de la piel de la nectarina se utilizó un colorímetro MINOLTA calibrado (Modelo Minolta CR 200, Japón). La función del colorímetro es describir la coloración de la epidermis de la pieza de fruta objeto de la medición. Los valores se expresaron en los parámetros de color del sistema CIELab, L^* que indica la luminosidad o claridad del color (0 = negro, 100 = blanco). Los parámetros a^* y b^* se utilizan para evaluar la saturación y el tono, respectivamente (Pomeranz y Meloan, 1987); los valores de la coordenada a^* están asociados al color rojo si es positiva (0 a 60) y al verde si es negativa (-60 a 0), mientras que la coordenada b^* corresponde al color amarillo si es positiva (0 a 60) y azul si es negativa (-60 a 0). En cada fruto se hicieron dos medidas en ambas caras del fruto respecto a la línea de sutura.

El contenido en azúcares, que se expresa en °Brix, se midió con un refractómetro digital de Bolsillo PAL⁻¹ con un rango de lectura de 0 a 32° Brix. Para hacer la medición se colocaron unas gotas de zumo de nectarina en el depósito del refractómetro.

La determinación de la acidez, que se expresa en meq/l de acidez o en g/l de ácido málico, se basa en la neutralización de 10 ml de zumo de nectarina por una base mineral diluida (hidróxido sódico) mediante la medida del volumen de esta base consumido a pH 8.1.

IV.2.5.8. Eficiencia en el uso del agua

Se calculó la eficiencia de uso del agua de riego (EUAR) en cada sistema de acolchado del suelo como el cociente entre la producción total de cada tratamiento acolchado y la cantidad de agua de riego aplicada.

$$\text{EUAR (Kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Producción en cada tratamiento de acolchado (Kg)}}{\text{Agua de riego aplicada (m}^3\text{)}} \quad (4)$$

IV.2.5.9. Análisis iónico foliar

Para el análisis iónico foliar efectuado en los años 2010 y 2011, se tomaron de cada árbol control 40 hojas situadas en las cuatro direcciones (N, S, E, O) del árbol en tres fechas: a mitad de mayo, después de la cosecha (mitad de julio) y a mitad de septiembre cuando se produce el fin de la actividad de la hoja.

El número total de análisis efectuados fue de 48 (1 árbol control/tratamiento x 4 tratamientos x 4 repeticiones x 3 fechas de muestreo).

Las hojas recogidas se llevaron en nevera portátil al laboratorio de la Unidad Suelos y Riegos, se lavaron con agua desionizada, se secaron y se molieron en la forma habitual. En estas muestras de hojas se midió el contenido de Na y Cl en el laboratorio del CITA.

IV.2.6. Análisis estadísticos

Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias mediante el programa estadístico Statgraphics plus versión 5.0 con un nivel de significación $P < 0.05$. Cuando se encontró efecto significativo, los datos se compararon con la prueba LSD (Mínima diferencia significativa).

IV.3. Resultados y discusión

IV.3.1. Clima

IV.3.1.1. Características climáticas generales de la zona de estudio

- **Precipitación y evapotranspiración de referencia (ET_o)**

En la serie analizada (1960-2009), la precipitación media anual fue de 257 mm. El régimen interanual de lluvias es irregular (coeficiente de variación de la precipitación media anual = 26%), encontrándose años en los que la precipitación anual fue bastante inferior a la media anual (184.5 mm en 1984) y otros en los que la precipitación anual fue prácticamente el doble de la media (498.4 mm en 1960).

Las precipitaciones se extienden a lo largo de todo el año (Figura IV.29), aunque se concentran especialmente en primavera y otoño (64% del total anual); siendo algo inferiores en verano (15%) e invierno (20%). Durante el verano, las precipitaciones se deben frecuentemente a fenómenos tormentosos.

La Tabla IV.7 presenta los datos meteorológicos medios en la estación de Caspe-red SIAR en el periodo 2004-2009. La precipitación anual media en este periodo fue de 220 mm, algo inferior a la del año medio del registro de 1960 a 2009 (257 mm).

La evapotranspiración de referencia (ET_o) media anual calculada a partir de la ecuación de Penman-Monteith para el periodo 2004-2009 fue de 1455 mm (Tabla IV.7). La Figura IV.30 presenta los valores medios mensuales de precipitación (datos de la serie histórica 1961-2000 de la estación Caspe-ayuntamiento INM y 2004-2009 estación Caspe-red SIAR) y de la evapotranspiración de referencia (ET_o) obtenidos a partir de los datos de 2004-2009 de la

estación meteorológica Caspe-red SIAR. Se observa claramente que los valores medios mensuales de la ETo son muy superiores a la precipitación para todos los meses del año. Esto genera un déficit hídrico medio anual de 1235 mm.

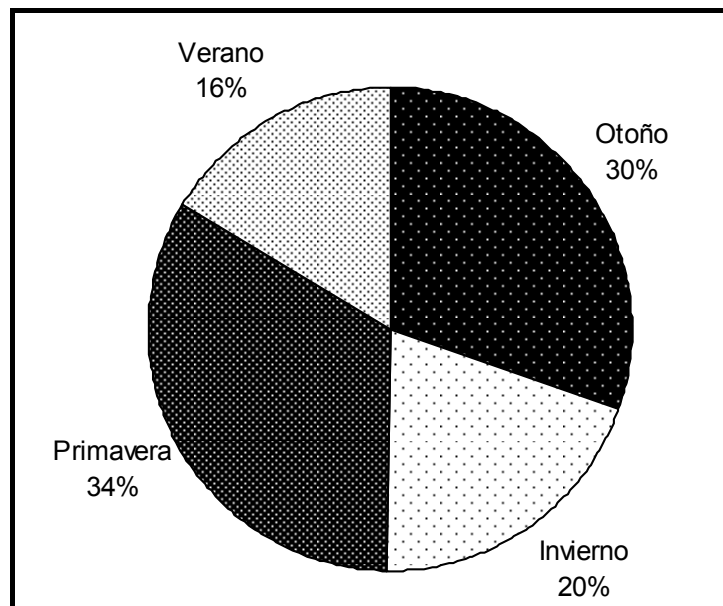


Figura IV.29. Distribución estacional de la precipitación en la zona de estudio, elaborada a partir de la serie histórica de 1960 a 2003 en la estación de Caspe-Ayuntamiento (AEMET) y de 2004 a 2009 (MAGRAMA) en la estación de Caspe-red SIAR (MAGRAMA).

Tabla IV.7. Valores medios mensuales y anuales de precipitación (P med), temperatura media de máximas (T máx), temperatura media de mínimas (T mín) y temperatura media (T med), evapotranspiración de referencia calculada por el método de Penman -Monteith (ETo), velocidad media del viento a 2 m sobre el suelo (V), y humedad relativa media del aire a 1.5 m sobre el suelo (HR). Los valores de Tmáx, Tmin y Tmed corresponden a los datos disponibles del periodo 1960 a 2009 y los valores de Pmed, ETo, V, HR y Rmed al periodo 2004-2009 de las estaciones Caspe-Ayuntamiento (AEMET) y Caspe-red SIAR (MAGRAMA).

Mes	Pmed (mm)	ETo (mm)	T °C			V (ms ⁻¹)	HR (%)
			Tmed	Tmáx	Tmín		
Ene	14.2	32.2	6.2	10.5	2.1	2.3	80
Feb	10.6	49.6	8.2	13.6	2.7	2.5	72
Mar	11.6	100.7	11.6	18.0	5.5	3.5	62
Abr	17.8	125.0	14.1	20.5	8.0	3.1	63
May	25.8	173.7	18.7	25.4	12.4	3.0	57
Jun	19.9	215.5	23.2	30.4	16.3	2.8	50
Jul	8.4	244.6	25.9	33.5	18.8	3.0	48
Ago	13.4	210.7	25.4	32.6	18.5	2.9	51
Sep	25.0	139.5	21.4	27.8	15.4	2.5	60
Oct	33.9	87.7	16.6	22.4	11.2	2.2	68
Nov	23.2	46.0	10.3	15.3	5.7	2.3	72
Dec	16.4	29.6	6.4	10.4	2.7	2.2	80
Anual	220.0	1454.7	15.7	21.7	9.9	2.7	63

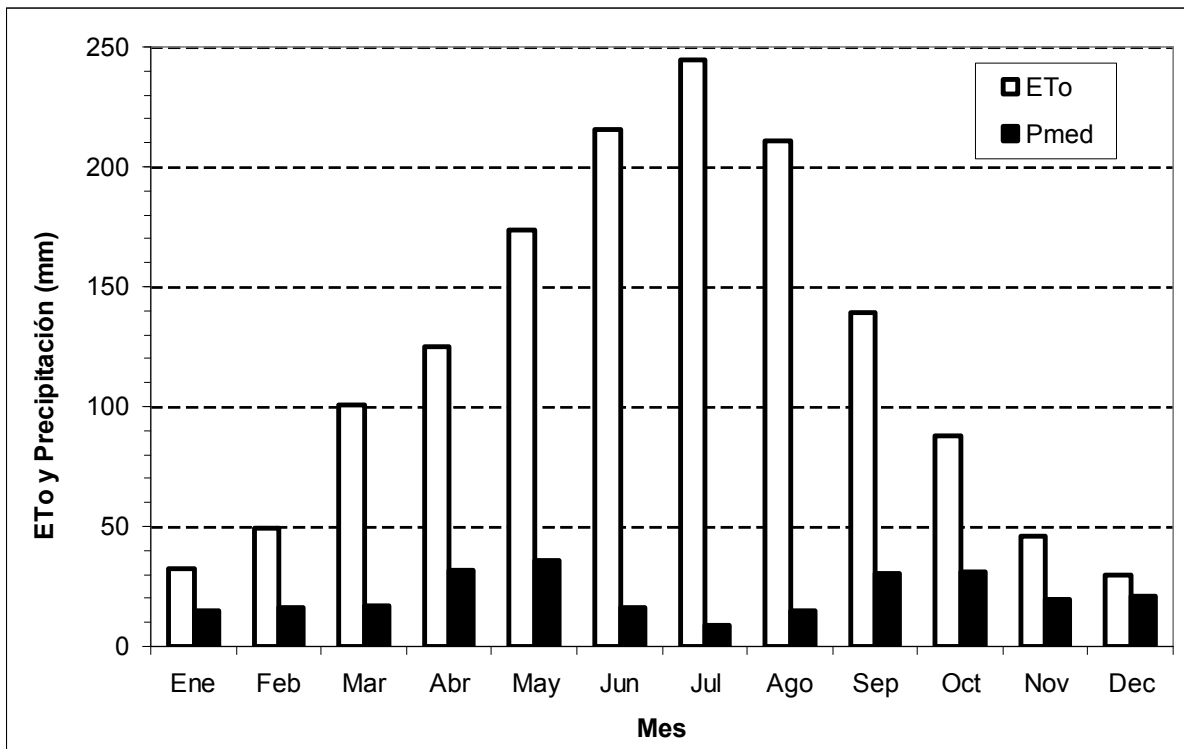


Figura IV.30. Valores medios mensuales de la precipitación (*Pmed*) de la serie histórica 1960-2009 de las estaciones de Caspe-Ayuntamiento (AEMET) y Caspe-red SIAR (MARM) y evapotranspiración de referencia (*ETo*) determinada por el método Penman Monteith de la serie 2004-2009 de la estación meteorológica de Caspe red SIAR (MARM).

- **Régimen de temperaturas**

La temperatura media anual de la zona de estudio es de 15.7 °C. Las temperaturas medias mensuales anuales más elevadas se registran en los meses de julio y agosto con unas temperaturas medias máximas de 33.5 y 32.6 °C respectivamente. Las medias de las mínimas anuales más bajas se dan en enero (2.1°C).

Las temperaturas medias anuales registradas en los meses de primavera oscilan entre 11.6 °C y 18.7 °C. El otoño se caracteriza por valores medios mensuales de la temperatura entre 10.3 °C y 21.4 °C.

El número medio de días de helada por año (número de días con temperatura mínima inferior a 0 °C) es de 25. Estos días se presentan entre los meses de diciembre y marzo, aunque se concentran especialmente entre diciembre y febrero.

- **Diagrama ombrotérmico**

Para determinar el periodo seco del año se ha recurrido al diagrama ombrotérmico (Figura IV.31) propuesto por Bangoul y Gausson (1953). Estos autores definen el periodo seco como el periodo durante el cual las precipitaciones medias mensuales expresadas en mm (*Pmed*) son inferiores o iguales al doble de la temperatura media mensual en °C (*Tmed*).

En la zona de estudio se presentan dos periodos secos al año: uno abarca los meses de mayo a noviembre en el que el periodo estival es el más importante y otro en primavera, sobre todo en el mes de marzo. En total hay 5 meses secos al año.

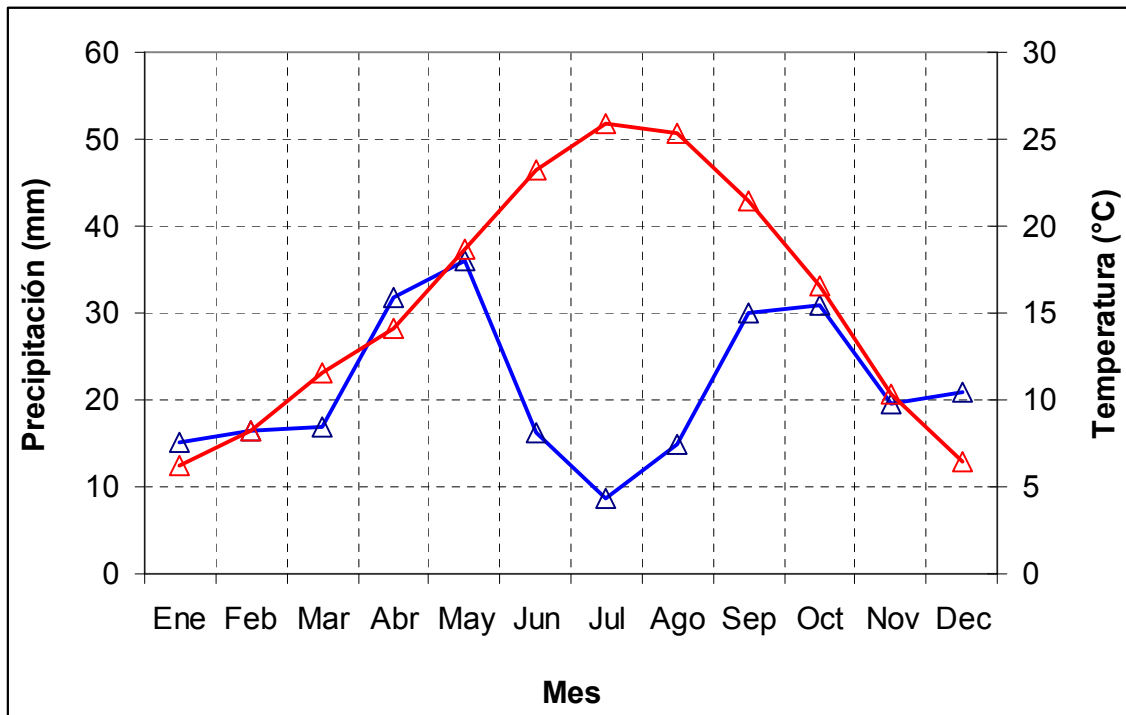


Figura IV.31. Diagrama ombrotérmico de la zona de estudio elaborado a partir de la serie histórica 1960-2003 de la estación meteorológica de Caspe-Ayuntamiento (AEMET) y de la serie 2004-2009 de la estación Caspe-red SIAR (MAGRAMA).

- **Viento**

Según la serie de datos 2004-2009, el periodo más ventoso se presenta entre enero y abril (la velocidad media del viento máxima se da en marzo con un valor de $3.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y el periodo con mayor calma se extiende desde octubre a enero (valores de velocidad media mensual del viento a 2 m sobre el suelo en octubre y diciembre de $2.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (Tabla IV.7). El valor medio anual de la velocidad del viento en el periodo 2004-2009 fue de $2.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- **Clasificación agroclimática**

Según la clasificación climática de Thornthwaite (1948), se trata de un clima semiárido mesotérmico, sin ningún exceso de agua en todo el año. El índice de Emberger (40) o coeficiente pluviométrico muestra que la zona de estudio se caracteriza por un clima mediterráneo semiárido.

IV.3.1.2. Caracterización climática del periodo experimental

En la Tabla IV.8 se presentan los datos meteorológicos medios mensuales de los años 2010 a 2012. Las precipitaciones fueron 315.2 mm en 2010, 346.7 mm en 2011 y 297.5 mm en 2012. Las lluvias más frecuentes se produjeron fundamentalmente en los meses de otoño y primavera.

La temperatura media anual fue $14.8 \text{ }^\circ\text{C}$ en 2010, $16.1 \text{ }^\circ\text{C}$ en 2011 y $15.8 \text{ }^\circ\text{C}$ en 2012. Las temperaturas máximas se registraron en el mes de agosto y las mínimas en diciembre de 2010 ($0.5 \text{ }^\circ\text{C}$), enero de 2011 ($0.8 \text{ }^\circ\text{C}$) y febrero de 2012 ($-0.5 \text{ }^\circ\text{C}$).

La humedad relativa media anual fue del 63% en 2010, 65% en 2011 y 62% en 2012. La humedad relativa del aire fue más baja en los meses de verano que en los meses de invierno.

La evapotranspiración de referencia anual (ET_o) calculada según la ecuación de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) fue muy similar en 2010 y 2011 con un valor de 1430 mm y fue más alta en 2012 con un valor de 1532 mm.

Tabla IV.8. Valores medios mensuales y anuales de precipitación (P_{med}), humedad relativa media del aire a 1.5 m sobre el suelo (HR), temperatura media de máximas (T máx), temperatura media de mínimas (T mín) y temperatura media (T med), velocidad media del viento a 2 m sobre el suelo (V) y evapotranspiración de referencia calculada por el método de Penman -Monteith (ET_o), en la estación Caspe-red SIAR (MAGRAMA) durante el periodo experimental de 2010 a 2012.

Año	P _{med} (mm)	HR (%)	Temperatura (°C)			V (ms ⁻¹)	ET _o (mm)
			T _{med}	T _{máx}	T _{mín}		
2010							
Ene	50.8	79	5.9	9.8	2.5	2.9	35.1
Feb	22.8	71	6.7	11.7	1.9	3.1	49.8
Mar	28.4	65	9.6	15.8	4.0	2.8	86.0
Abr	15.2	64	14.4	20.9	8.4	2.4	115.4
May	35.4	56	16.8	23.7	10.6	3.3	167.8
Jun	26.6	52	21.8	29.4	14.9	2.9	195.0
Jul	1.2	47	27.0	35.5	19.7	3.1	256.3
Ago	16.8	48	25.4	33.2	17.7	3.0	215.7
Sep	39.8	57	20.7	27.8	14.5	2.5	139.0
Oct	59.4	65	14.9	21.2	9.5	2.8	91.2
Nov	15.4	73	9.1	14.7	4.2	2.7	50.2
Dic	3.4	75	4.8	9.5	0.5	2.4	31.3
Anual	315.2	63	14.8	21.2	9.1	2.8	1432.8
2011							
Ene	6.2	82	4.9	9.8	0.8	1.7	27.9
Feb	4.4	68	8.5	15.0	3.2	2.8	60.4
Mar	78.6	71	10.7	16.3	5.9	2.8	83.0
Abr	74.8	61	16.5	23.6	10.1	2.7	134.1
May	69.8	58	19.6	27.2	12.7	2.7	174.8
Jun	8.2	52	22.3	30.1	15.4	2.7	202.9
Jul	13.6	50	24.2	31.6	16.4	3.1	213.2
Ago	0.4	54	26.4	34.8	19.3	2.8	219.5
Sep	6.2	58	23.2	31.3	15.9	2.1	149.3
Oct	12.7	63	16.8	24.4	9.6	1.9	90.8
Nov	66.5	86	11.9	16.3	8.3	1.8	35.1
Dic	5.3	77	7.7	12.7	3.1	2.7	39.0
Anual	346.7	65	16.1	22.8	10.1	2.5	1430.0

Tabla IV.8 (continuación). Valores medios mensuales y anuales de precipitación (Pmed), humedad relativa media del aire a 1.5 m sobre el suelo (HR), temperatura media de máximas (T máx), temperatura media de mínimas (T mín) y temperatura media (T med), velocidad media del viento a 2 m sobre el suelo (V) y evapotranspiración de referencia calculada por el método de Penman -Monteith (ET_o), en la estación Caspe-red SIAR (MAGRAMA) durante el periodo experimental de 2010 a 2012.

Año	Pmed (mm)	HR (%)	Temperatura (°C)			V (ms ⁻¹)	ET _o (mm)
			Tmed	Tmáx	Tmín		
2012							
Ene	3.0	79	6.3	11.6	1.7	2.5	41.4
Feb	0.6	51	5.6	12.9	-0.5	4.1	75.1
Mar	18.9	55	11.9	20.0	4.1	2.6	110.3
Abr	52.4	62	13.4	20.0	7.6	3.6	126.4
May	8.9	54	20.1	27.9	13.1	3.0	194.3
Jun	37.6	49	24.7	33.2	17.1	2.9	227.9
Jul	7.9	49	25.0	33.5	17.9	3.0	238.6
Ago	13.3	50	27.3	36.2	18.2	2.7	221.7
Sep	24.7	58	21.5	28.7	15.1	2.6	146.0
Oct	82.7	74	16.2	22.5	10.8	2.5	82.2
Nov	42.1	82	10.2	14.8	6.5	2.1	34.8
Dic	5.4	78	7.2	12.7	2.3	2.2	32.9
Anual	297.5	62	15.8	22.9	9.5	2.8	1531.6

IV.3.2. Riego

IV.3.2.1. Volumen de riego

Se aplicó un riego diario cuya duración varió de acuerdo a la demanda evaporativa de la nectarina. El seguimiento del volumen de riego aplicado fue semanal mediante contadores volumétricos. La Figura IV.32 presenta los valores semanales de la altura de riego y precipitación durante los años 2010 a 2012. Las campañas de riego fueron del 1 de marzo al 4 de Octubre en 2010, 1 de marzo a 12 de octubre en 2011, y 24 de Febrero a 7 de Octubre en 2012.

En el primer año del ensayo el volumen total de agua aplicada fue de 636 mm, con un tiempo medio por riego de 2.2 horas. Teniendo en cuenta la disposición de los goteros y su caudal unitario, la aplicación media de cada evento de riego fue de 2.9 mm. En 2011 el volumen total de agua aplicada fue de 677 mm, con un tiempo medio por riego de 2.3 horas y una aplicación media de 3.1 mm en cada evento de riego. En 2012 el volumen total de agua aplicada fue de 728 mm con un tiempo medio por riego de 2.2 horas y una aplicación media de 2.9 mm en cada evento de riego.

A lo largo de las campañas de riego (desde marzo hasta octubre) de 2010, 2011 y 2012, hubo unas lluvias a lo largo del desarrollo vegetativo y del crecimiento del fruto de la nectarina. Estas precipitaciones fueron de 163.8 mm 2010 y 251.6 mm en 2011 y 163.9 mm en 2012.

Durante las campañas de riego de los tres años del ensayo, la cantidad de riego aplicada y las lluvias fueron más elevadas en 2011 (928 mm) que en el 2012 (892 mm) y 2010 (859 mm).

La Figura IV.32 muestra que en el año 2010, a partir de la semana 27 se incrementó el riego aplicado para intentar conseguir la extracción de la solución del suelo con las sondas de succión. En la semana 35 se cortó el riego durante 7 días, razón por la que el riego en esa semana fue de solo 14.4 mm. El otro corte de riego fue solamente de 3 días en la semana 31. En el 2011, el corte de riego se produjo en las semanas 29 y 30, en las que la cantidad de riego aplicada fue de 13.5 y 20.7 mm, respectivamente. En el 2012 no se practicó ningún corte de riego.

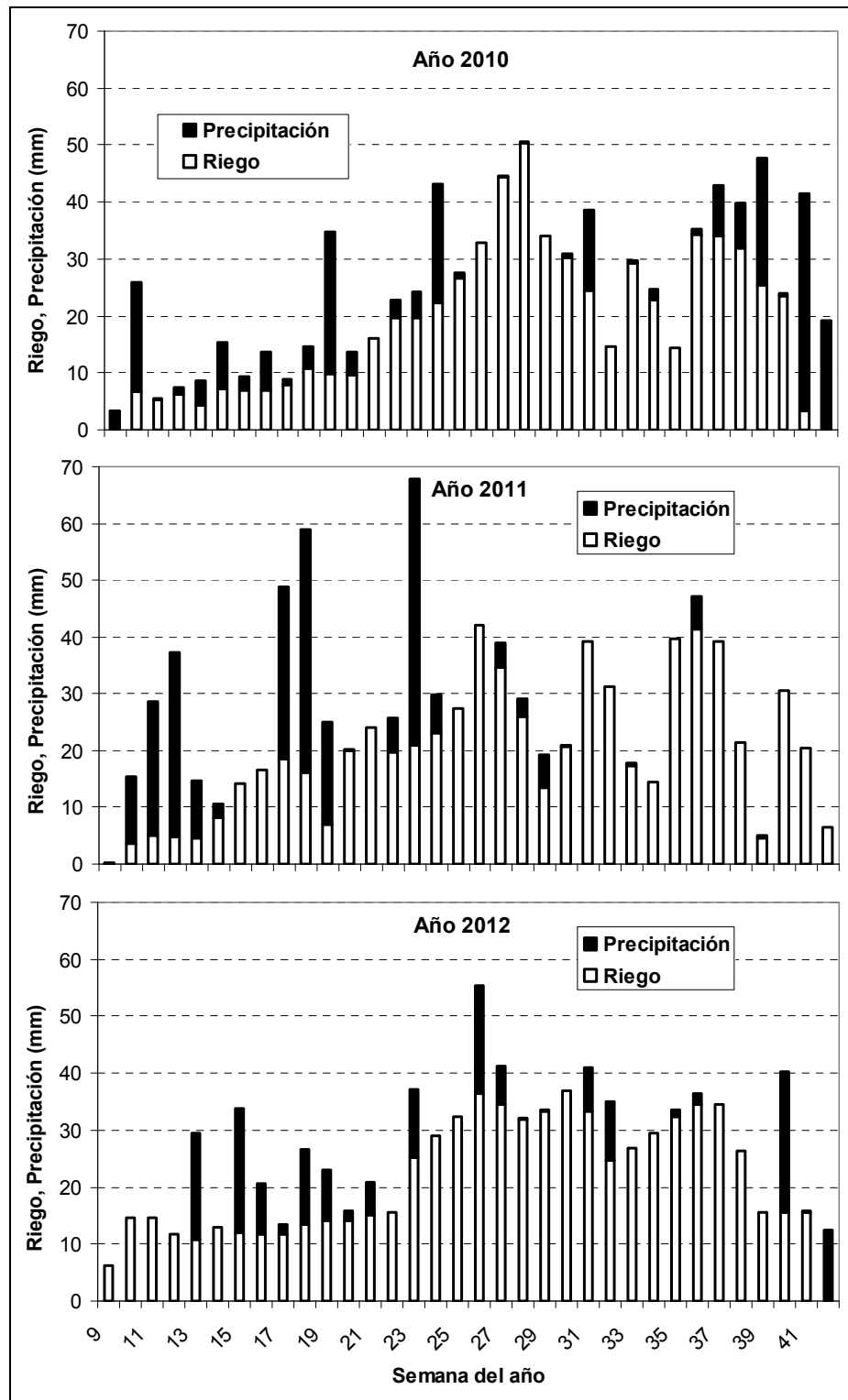


Figura IV.32. Valores semanales de las alturas de riego y precipitación en el ensayo de nectarina en los años 2010 a 2012.

IV.3.2.2. Calidad del agua de riego

La Tabla IV.9 presenta el número de muestras de agua de riego tomadas en el periodo experimental (N) y los valores máximos, mínimos y medios de CE, Na, Cl y RAS medidos en 2010 a 2012, y de Ca y Mg medidos en 2011 y 2012. Según FAO, el agua de riego es de buena calidad y apta para el riego por goteo en cultivos frutales.

La Figura IV.33 muestra la evolución de la CE, Cl y Na del agua de riego durante las estaciones de riego 2010, 2011 y 2012. En 2010 y 2011 los valores de estas variables aumentaron a lo largo de la estación y, en particular, a partir del mes de agosto, período de menores caudales del Ebro en su parte media-baja y guardan la misma evolución en ambos años. En 2012, los valores de CE, Cl y Na fueron altos al inicio de la estación de riego, disminuyeron en mayo y volvieron a aumentar a partir del mes de julio.

Tabla IV.9. Número de muestras de agua (N) y valores máximos, mínimos y medios de la CE, Na, Cl y RAS del agua de riego de la finca AFRUCCAS durante los años 2010 a 2012.

Año	CE (dS/m)	Na (Meq/L)	Cl (meq/L)	RAS [(mmol/L) ^{0.5}]	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)
2010						
N	30	30	30	30	-	-
Max	1.5	6.6	6.2	3.2	-	-
Min	0.8	2.30	2.3	1.4	-	-
Media	1.1	4.4	4.0	2.4	-	-
2011						
N	27	27	27	27	27	27
Max	1.5	6.3	5.8	3.0	6.4	3.2
Min	0.7	2.0	1.9	1.3	3.4	1.3
Media	1.2	4.5	4.2	2.3	5.0	2.0
2012						
N	18	18	18	18	3	3
Max	1.2	5.2	4.8	2.9	2.8	1.2
Min	0.8	3.1	2.5	1.9	2.2	0.7
Media	1.0	4.3	3.8	2.5	2.5	1.1

En la evolución de las concentraciones de Cl y Na, se observa que estas fueron iguales o superiores a 5 meq L⁻¹ a partir de agosto, tanto en el año 2010 como en el 2011, mientras que alcanzaron estos valores en abril, mayo y julio de 2012. Estos valores están próximos al umbral de una posible toxicidad iónica específica en cultivos sensibles (como la mayoría de los frutales) regados por aspersión, pero no cabe esperar problemas de toxicidad en riego por goteo.

La Figura IV.34 presenta la evolución de la composición iónica del agua de riego de la finca AFRUCCAS durante la estación de riego de la nectarina en 2010, 2011 y 2012.

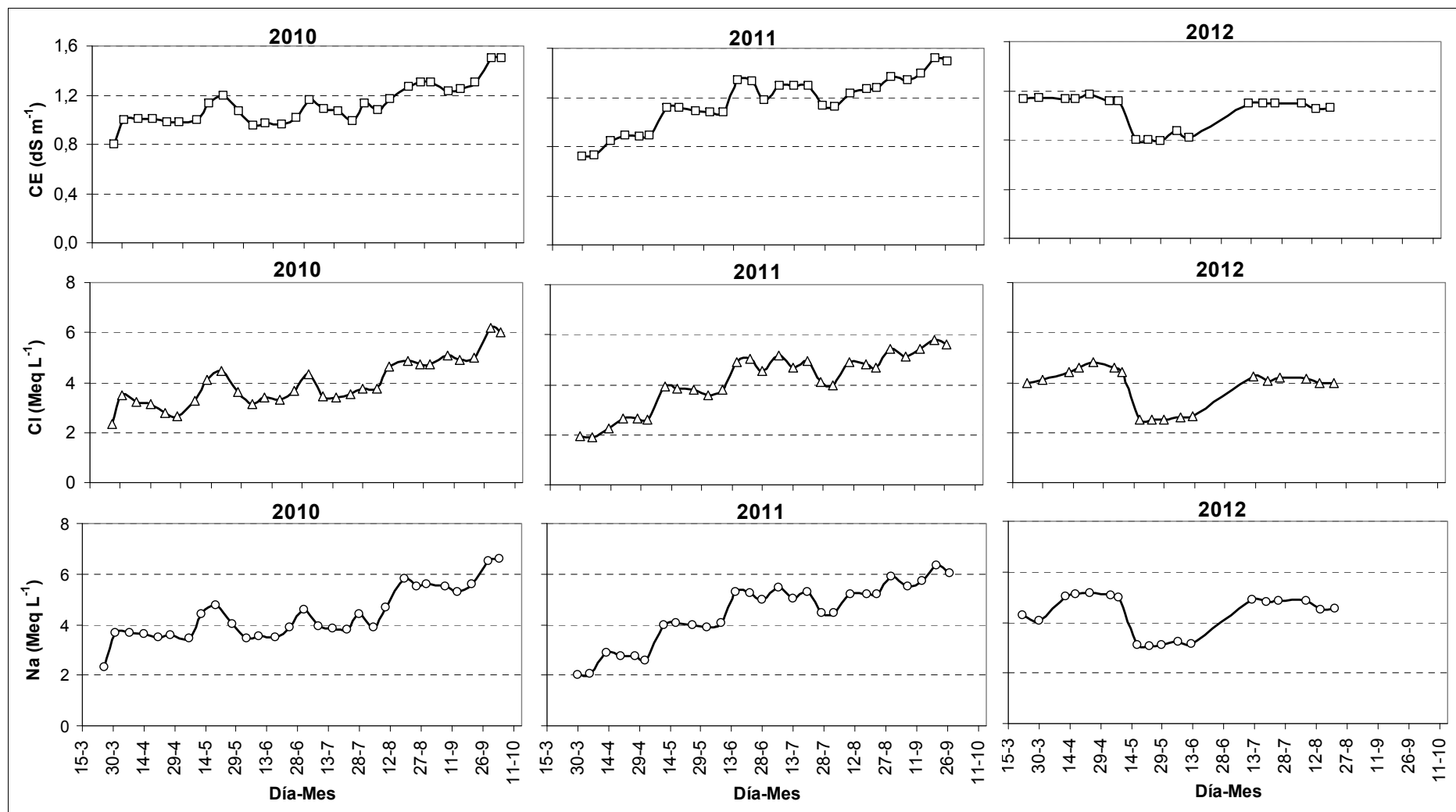


Figura IV.33. Evolución de la CE, Cl y Na del agua de riego de la finca AFRUCCAS a lo largo de las estaciones de riego 2010, 2011 y 2012 del ensayo de la nectarina.

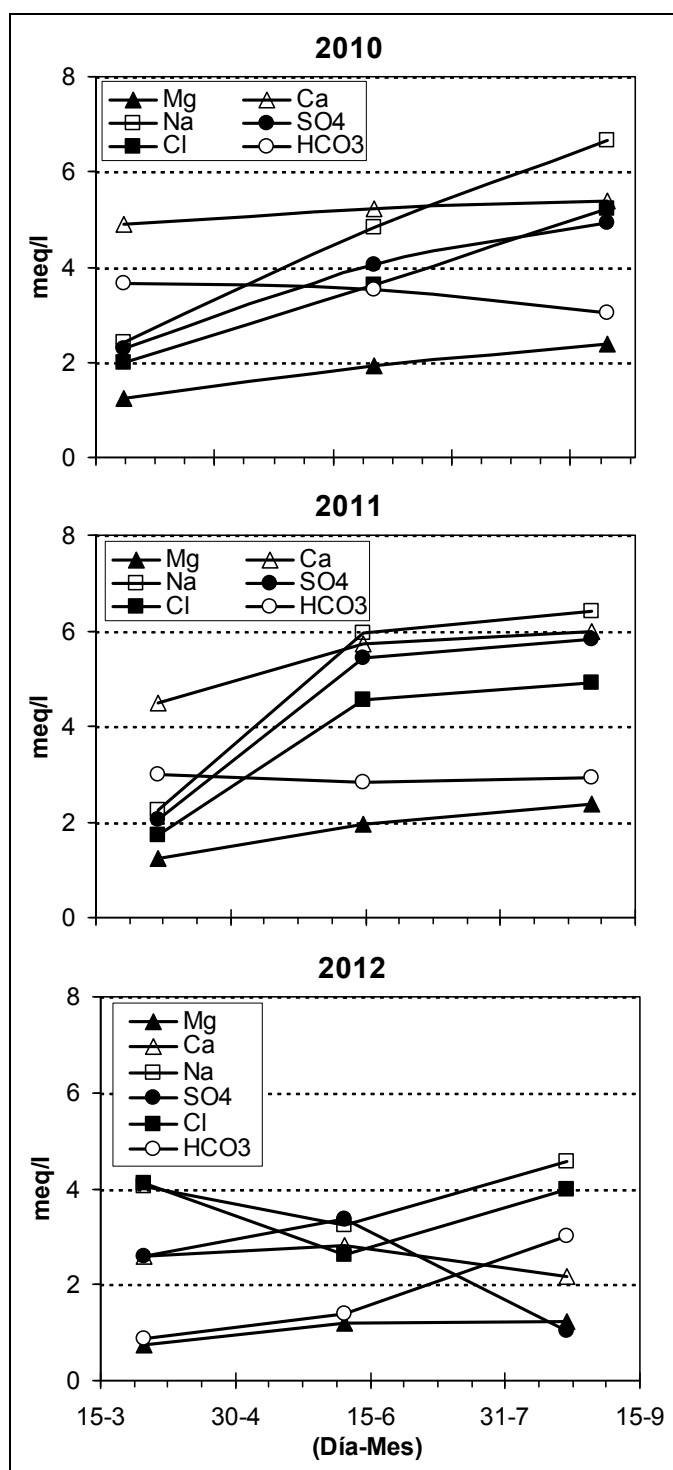


Figura IV.34. Evolución de la composición iónica del agua de riego de la finca AFRUCCAS al inicio, mitad y final de la estación de riego 2010, 2011 y 2012 de la nectarina.

La evolución de la composición iónica del agua de riego mostró en el 2010 incrementos entre el inicio y final de la estación del 47% (CE), 62% (Cl), 64% (Na), 48% (Mg), 53% (SO₄) y 9% (Ca), y un descenso del 21% para el HCO₃. En 2011, los incrementos fueron 49% (CE), 65% (Cl), 65% (Na), 49% (Mg), 65% (SO₄) y 25% (Ca), y un descenso del -3% para el HCO₃. En 2012, la CE del agua de riego fue similar al inicio y al final de la estación de riego, con incrementos del 40% (Mg), 11% (Na) y 71% (HCO₃) y descensos del 20% (Ca), 146% (SO₄) y 3% (Cl). De los resultados obtenidos se puede concluir que la evolución de la

composición química del agua de riego fue similar en las campañas de riego de la nectarina de 2010 y 2011 y tuvo un comportamiento muy diferente en 2012.

La Tabla IV.10 presenta los valores medios de CE, aniones y cationes del agua de riego de la finca AFRUCCAS (valores medios de las muestras al inicio, mitad y final de las estaciones de riego) en los años 2010 a 2012. La CE del agua de riego fue similar para los tres años del ensayo, las concentraciones de aniones y cationes fueron muy parecidas en 2010 y 2011 y más bajas en 2012.

Tabla IV.10. Valores medios de CE, aniones y cationes principales del agua de riego de la finca AFRUCCAS en las estaciones de riego de los años 2010 a 2012.

Año	CE	Mg	Ca	Na	SO ₄	Cl	HCO ₃	K
	(dS/m)	----- (meq/L) -----						
2010	1.1	1.8	5.2	4.6	3.8	3.6	3.4	0.1
2011	1.2	1.9	5.4	4.9	4.4	3.7	2.9	0.1
2012	1.0	1.1	2.5	3.9	2.3	3.6	1.7	0.1

La aptitud del agua de riego para las estaciones de riego de 2010 a 2012 se ha establecido para cinco fracciones de lavado (FL = 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4) en base al nomograma clásico de la FAO para riego convencional y de alta frecuencia (Tabla IV.11), que asume la ausencia de disolución y precipitación de minerales, y en base al programa Watsuit, que asume saturación en calcita y posible precipitación de calcita y yeso. Para el programa Watsuit se presentan los resultados de la parte superior del perfil de suelo donde la densidad radical es alta debido al riego por goteo de alta frecuencia (Tabla IV.11).

Para todas las fracciones de lavado, la CE_e aumenta con el aumento de la CE_{ar}. Asimismo, las estimas de CE_e con Watsuit son inferiores a las de FAO debido a la precipitación de calcita que FAO no tiene en cuenta. En ningún caso Watsuit indica precipitación de yeso.

En base a FAO algunos valores de CE_e para las FL más bajas fueron superiores al umbral de salinidad de la nectarina (CE_e umbral = 1.7 dS m⁻¹) mientras que los valores de CE_e con Watsuit fueron en todos los casos inferiores a dicho umbral. Puede por lo tanto concluirse que en base a Watsuit el agua de riego es apta para el riego por goteo de nectarina, independientemente del valor de la FL, mientras que según FAO el agua sería apta para el riego para FL de 0.2 o superiores.

Tabla IV.11. Aptitud de la calidad del agua de riego de la finca AFRUCCAS en riego por goteo (riego de alta frecuencia) en los años 2010 a 2012: valores de salinidad de la parte superior del perfil del suelo (CE_e) estimados por el nomograma FAO y por el programa Watsuit (WAT) para distintas fracciones de lavado (FL). CE_{ar} es la CE del agua de riego estimada por Watsuit.

Año	CE _{ar}	FL = 0.05		FL = 0.1		FL = 0.2		FL = 0.3		FL = 0.4	
		CE _e FAO	CE _e WAT	CE _e FAO	CE _e WAT	CE _e FAO	CE _e WAT	CE _e FAO	CE _e WAT	CE _e FAO	CE _e WAT
----- (dS/m) -----											
2010	0.99	2.04	0.86	1.52	0.82	1.12	0.76	0.94	0.72	0.83	0.68
2011	1.08	2.23	0.93	1.65	0.89	1.23	0.83	1.03	0.78	0.91	0.74
2012	0.80	1.86	0.69	1.38	0.66	1.02	0.61	0.86	0.58	0.76	0.56

IV.3.3. Suelo

IV.3.3.1. Caracterización

- **Caracterización previa del suelo de la parcela de la nectarina en la finca AFRUCCAS**

El suelo se muestreó al inicio del ensayo (marzo de 2010) en ocho puntos de la parcela experimental a tres profundidades (0-30, 30-60 y 60-90 cm). La Tabla IV.12 presenta los valores de las variables medidas a cada profundidad y la media del perfil muestreado.

El análisis granulométrico indica que el suelo se caracteriza por una textura franca con unos contenidos de 21% de arcilla, 28% de limo y 31% de arena como media de todo el perfil. La humedad gravimétrica (HG) y la materia orgánica (MO) descienden con la profundidad, alcanzando unos valores medios respectivos del 16.3% y 1.4%.

El yeso fue relativamente bajo a 0-30 y 30-60 cm, y muy elevado a 60-90 cm de profundidad. Estos valores son solo orientativos, ya que su analítica es imprecisa para valores de yeso bajos. La CE del extracto saturado clasifica el suelo como salino (CEe media = 5.0 dS/m), mientras que el RASe lo clasifica como no sódico. Los valores de capacidad de campo (CC), punto de marchitez (PM) y agua útil son típicos de un suelo franco.

Tabla IV.12. Valores medios en los 8 puntos de muestreo de suelo de la humedad gravimétrica (HG) en el momento de muestreo, capacidad de campo (CC), punto de marchitez (PM), agua útil (AU), materia orgánica (MO), yeso y valores en el extracto saturado del suelo de la CE (CEe), Na (Nae), Cl (Cle) y RAS (RASe) para las profundidades de suelo de 0-30, 30-60 y 60-90 cm, y para la media del perfil muestreado al inicio del ensayo (mes de marzo).

Prof. (cm)	HG (%)	CEe (dS/m)	Nae (meq/l)	RASe (mmol/l) ^{0.5}	Cle (meq/l)	Yeso (%)	MO (%)	CC (%)	PM (%)	AU (%)
0-30	21.6	3.5	13.4	3.2	8.3	1.0	2.2	26.7	13.7	13.0
30-60	15.1	5.7	22.8	4.1	31.8	1.7	1.3	28.2	10.8	17.5
60-90	12.2	5.7	17.5	4.4	28.9	14.7	0.7	27.7	11.2	16.3
Media	16.3	5.0	17.9	3.9	23.0	5.8	1.4	27.5	11.9	15.6

- **Resultados de la calicata**

La Tabla IV.13 presenta los análisis de los cuatro horizontes indicados en el apartado de material y métodos. El suelo es profundo, bien drenado y con una textura franca. Tiene muy pocos elementos gruesos, y presenta acumulaciones secundarias de carbonatos en forma de pseudomicelios y caliza pulverulenta. Es un suelo desarrollado sobre areniscas y lutitas del terciario, a partir de coluviones de ladera. La secuencia de horizontes es Ap-Bw1-Bw2-Bwk-C(arenisca)-R(arenisca). Este suelo se clasifica como Haploxerept cálcico, franca fina, carbonática, térmica (SSS, 2006) y como Cambisol háplico (calcárico) (WRB, 2006).

La comparación de los resultados de análisis de los muestreos hechos en el laboratorio del CITA con los de los análisis provenientes de la calicata efectuados en un laboratorio externo, mostró que los resultados son bastante parecidos. Los valores medios de % de MO, %CC, %PM obtenidos en el Laboratorio del CITA en los 8 puntos de muestreo superan ligeramente a los valores obtenidos en la calicata. Estas diferencias se deben principalmente a que las profundidades de muestreo no fueron las mismas y a la variabilidad de los puntos de muestreo efectuados antes de empezar el ensayo.

Tabla IV.13. Resultados analíticos de los horizontes de suelo muestreados en la calicata efectuada en la parcela de nectarina de la finca AFRUCCAS-Caspe.

Horizonte	Ap	Bw1	Bw2	Bwk
Profundidad (cm)	0-20	20-40	40-77	77-110
%HG	1.2 %	1.2 %	<1.0 %	1.0 %
pH	>8.2	8.1	8.2	8.2
CEe (dS/m)	0.36	0.69	0.78	1.62
MAT. ORGANICA (%)	2.03	1.37	0.75	0.67
Carbonatos (%)	51	55	50	54
Nitrógeno nítrico (N-NO ₃) (mg/kg)	11	81	18	18
Fósforo (P) (Olsen) (mg/kg)	20	4	<1	<1
Potasio (K) (mg/kg)	133	62	41	49
Calcio (Ca) (mg/kg)	8241	8230	7694	7642
Magnesio (Mg) (mg/kg)	137	178	337	675
Sódio (Na) (mg/kg)	65	84	158	260
Arena total (%) (0.05<D<2 mm)	30.1	25.4	43.0	30.5
Limo grueso (%) (0.02<D<0.05 mm)	13.8	14.0	14.4	10.1
Limo fino (%) (0.002<D<0.02 mm)	31.3	35.7	24.5	32.3
Arcilla (%) (D<0.002 mm)	24.8	24.9	18.1	27.1
Clase textural USDA	Franca	Franco-Limosa	Franca	Franco-arcillosa
Humedad 33 kPa (%)	26	26	21	21
Humedad 1500 kPa (%)	11	11	8	8

IV.3.3.2. Evaporación del suelo medida por microlisimetría

En este apartado se analiza la evaporación acumulada media medida en los ML 1, 2, 3 y 4 de cada tratamiento de acolchado. Se han seleccionado estas cuatro posiciones por ser las que tienen un sombreado prácticamente completo del árbol, por lo que la evaporación debe ser función única del tratamiento de acolchado. El número de ML en cada tratamiento es por lo tanto de 12 (4 ML x 3 repeticiones).

La Tabla IV.14 sintetiza las características físicas del suelo superficial (0-20 cm) utilizado en los ensayos de evaporación.

Tabla IV.14. Análisis textural, densidad aparente (DA), y humedad gravimétrica a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PM) del suelo (0-20 cm) en la parcela experimental del ensayo de evaporación del suelo de la finca AFRUCCAS-Caspe.

				Humedad (%) a:		
Arena (%)	Limo grueso (%)	Limo fino (%)	Arcilla (%)	DA (g cm ⁻³)	CC (%)	PM (%)
25.4	14.0	35.7	24.9	1.4	26	11

- Ensayo 1

La Figura IV.35 presenta para cada tratamiento de acolchado la evolución de la evaporación acumulada media a lo largo de los 10 días de duración del primer ensayo (27 de junio al 7 de julio). El peso inicial medio de los 36 ML (12 ML x 3 tratamientos) fue de 851 g, equivalente a un porcentaje de humedad gravimétrica medio del 29.6%, ligeramente superior a CC (26%). El peso final medio de los 36 ML fue de 690 g, equivalente a un porcentaje de humedad gravimétrica medio del 24.0%.

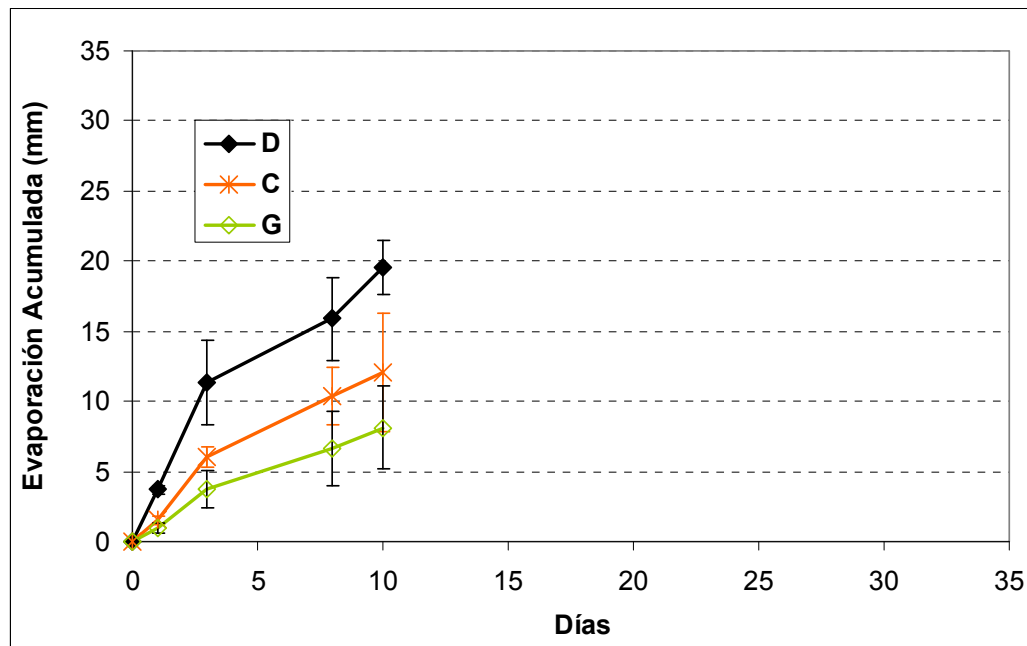


Figura IV.35. Ensayo 1: evolución en cada tratamiento de acolchado (D, desnudo; C, corteza de pino y G geotextil de yute) de la evaporación acumulada media del suelo en los cuatro microlisímetros (ML 1 a 4) sombreados. Los segmentos verticales representan \pm una desviación estándar de la media (N = 12 ML).

La evaporación acumulada en los 10 días de ensayo fue de 19.6, 12.1 y 8.1 mm en el suelo desnudo y en los suelos acolchados con corteza de pino y geotextil, respectivamente. Respecto al suelo desnudo, la corteza de pino y el geotextil redujeron la evaporación acumulada en un 38% y un 59%, respectivamente.

La evaporación diaria (mm/día) varió entre 3.8 y 1.0 en el suelo desnudo (media para el período de 10 días = 2.0 mm/día), entre 2.2 y 1.6 en el suelo acolchado con corteza de pino (media = 1.2 mm/día) y entre 1.4 y 0.8 en el suelo acolchado con geotextil (media = 0.81 mm/día) (Tabla IV.14). La evaporación media diaria en los tres tratamientos fue máxima en los dos primeros días, cuando el suelo estaba más húmedo, y descendió en los últimos días, cuando el suelo estaba más seco.

En las dos primeras medidas, la evaporación media diaria fue significativamente diferente en los tres tratamientos según el orden: suelo desnudo > corteza de pino > geotextil de yute (Tabla IV.15). En la tercera medida, la evaporación disminuyó apreciablemente en los tres tratamientos debido a la menor humedad del suelo y las diferencias entre ellos no fueron significativas. En la cuarta medida (5 al 7 de julio), la evaporación aumentó de forma relevante en los tratamientos de suelo desnudo y corteza de pino y se mantuvo estable en el tratamiento de geotextil debido a una lluvia de 4.4 mm que aumentó la humedad del suelo en el control y corteza de pino pero no en el geotextil posiblemente debido a que la lluvia quedó retenida en este material poroso y no infiltró en el suelo de sus ML.

Tabla IV.15. Ensayo 1: valores medios de evaporación diaria (mm día^{-1}) de los 12 microlisímetros (ML) de cada tratamiento de acolchado durante períodos consecutivos del primer ensayo. Para cada período, valores seguidos de la misma letra no son diferentes significativamente ($P < 0.05$).

	Evaporación media diaria (mm día^{-1}) en el período:			
	27/6 al 28/6	28/6 al 30/6	30/6 al 5/7	5/7 al 7/7
Duración (Días)	1	2	5	2
Geotextil (G)	1.0a	1.4a	0.8a	0.9a
Corteza (C)	1.6b	2.2b	0.8a	1.5b
Desnudo (D)	3.7c	3.8c	1.0a	1.9b

La mayor evaporación del suelo en el acolchado con corteza que en el acolchado con geotextil puede atribuirse a las diferentes características de estos acolchados. El espacio amplio entre las partículas de corteza pudo facilitar el paso de vapor de agua a la atmósfera, mientras que el geotextil poroso ofrece una barrera más efectiva a la circulación del vapor de agua. Hay que destacar que en nuestro ensayo el suelo de los ML no estuvo en contacto directo con los acolchados, ya que la corteza reposaba sobre una malla metálica y el geotextil apoyaba sobre el borde de los ML. En condiciones reales de campo en las que el geotextil apoya directamente sobre el suelo, es posible que la evaporación sea mayor que en la corteza de pino debido a la alta porosidad del geotextil que se humedecería en contacto con el suelo húmedo.

Díaz et al. (2005) investigaron el efecto del grosor y tamaño de un acolchado de piedra volcánica granulada sobre la evaporación del suelo de una región volcánica española con una precipitación inferior a 150 mm al año. Los resultados mostraron que la evaporación de agua disminuyó al aumentar el grosor del acolchado. La evaporación se redujo un 92% y un 52% con acolchados de espesores de 10 y 2 cm, respectivamente.

• Ensayo 2

La Figura IV.36 presenta para cada tratamiento de acolchado la evolución de la evaporación acumulada media a lo largo de los 30 días de duración del segundo ensayo (26 de julio al 25 de agosto). Al igual que en el primer ensayo, al comienzo del segundo ensayo la humedad gravimétrica media de los ML era del 29.6%. Debido a la mayor duración del ensayo 2, la humedad gravimétrica media disminuyó hasta el 9.5%.

La evaporación fue máxima al principio del ensayo y disminuyó paulatinamente con el secado del suelo. La evaporación acumulada en los treinta días de ensayo fue de 30.8 mm (suelo desnudo), 27.2 mm (corteza de pino) y 25.9 mm (geotextil). Respecto al suelo desnudo, la corteza de pino y el geotextil redujeron la evaporación acumulada en los treinta días en un 12% y un 16%, respectivamente.

La evaporación diaria (mm/día) al principio (día 1) y final (día 30) del ensayo fue 5.3 y 0.1 en el suelo desnudo (media para el período de 30 días = 1.0 mm/día), 2.7 y 0.2 en el suelo acolchado con corteza de pino (media = 0.91 mm/día) y 2.0 y 0.2 en el suelo acolchado con geotextil (media = 0.86 mm/día) (Tabla IV.16).

La evaporación media diaria en los tres tratamientos fue máxima en el primer día, cuando el suelo estaba a capacidad de campo, y descendió paulatinamente hasta alcanzar unos valores muy bajos de en torno a 0.2 mm/día en los tres tratamientos al final del período estudiado, cuando el suelo estaba muy seco.

En las dos primeras medidas, la evaporación media diaria fue (con una excepción) significativamente diferente en los tres tratamientos según el orden: suelo desnudo > corteza de pino > geotextil de yute. En los períodos subsiguientes y hasta el final del ensayo la

evaporación disminuyó apreciablemente en los tres tratamientos y en general, las diferencias entre ellos no fueron significativas (Tabla IV.16).

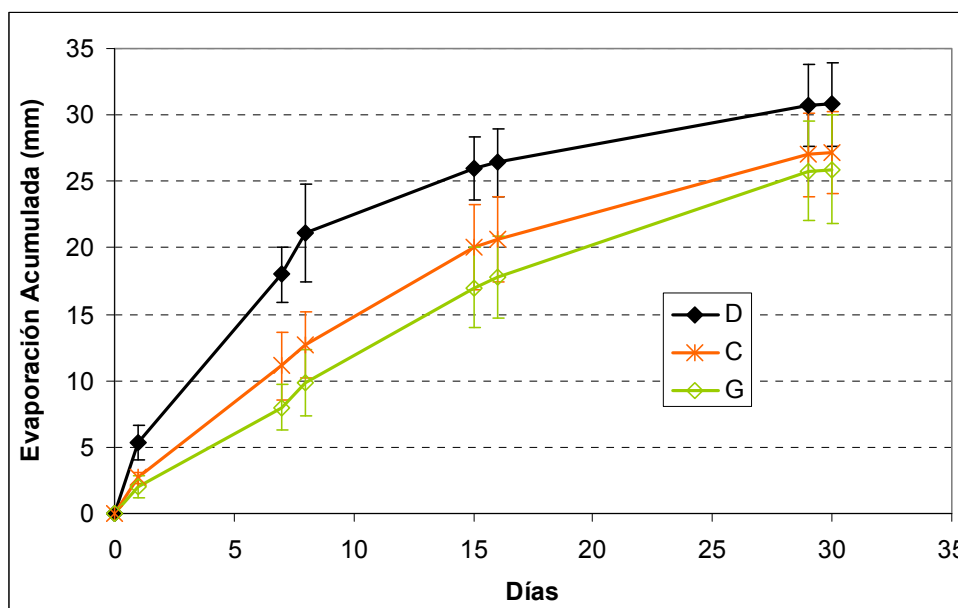


Figura IV.36. Ensayo 2: evolución en cada tratamiento de acolchado (D, desnudo; C, corteza de pino y G geotextil de yute) de la evaporación acumulada del suelo en los cuatro microlisímetros (ML 1 a 4) sombreados. Los segmentos verticales representan \pm una desviación estándar de la media (N = 12 ML).

Tabla IV.16. Ensayo 2: valores medios de evaporación diaria (mm día^{-1}) de los 12 microlisímetros (ML) de cada tratamiento de acolchado durante períodos consecutivos del segundo ensayo. Para cada período, valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

	Evaporación media diaria (mm día^{-1}) en el período:						
	26/7- 27/7	27/7- 2/8	2/8- 3/8	3/8- 10/8	10/8- 11/8	11/8- 24/8	24/8- 25/8
Duración (Días)	1	6	1	7	1	13	1
Geotextil (G)	2.0a	1.3a	1.8a	1.0a	0.8b	0.6a	0.2a
Corteza (C)	2.7a	1.9b	1.6a	1.0a	0.7b	0.5a	0.2a
Desnudo (D)	5.3c	3.0c	1.7a	0.9a	0.4a	0.3a	0.1a

Unger y Parker (1976) encontraron resultados similares e indicaron que el acolchado con paja disminuye la evaporación del suelo pero la tasa de evaporación acumulada tiende a ser casi idéntica para todos los tratamientos si el periodo es suficientemente largo.

Yuan et al. (2009) indicaron que el acolchado del suelo impide el transporte de vapor de agua desde el suelo hacia la atmósfera, pero su resistencia al transporte de vapor de agua retrasa pero no previene la evaporación. El retraso de la evaporación depende de la naturaleza del material (Fuchs y Hadas, 2011).

Hay que destacar que las mayores diferencias entre los tratamientos de acolchado se han encontrado cuando el suelo esta húmedo. Estos resultados confirman los de Todd et al. (1991) que indicaron que el acolchado con la paja redujo la evaporación de los ML en un cultivo de maíz en comparación con los ML descubiertos. Esta reducción de la evaporación fue de 0.1 mm día^{-1} en condiciones de secano, de 0.5 mm día^{-1} en condiciones de riego deficitario y de 0.9 a 1.1 mm día^{-1} en condiciones normales de riego..

- **Ensayos 1 y 2**

Para establecer la comparación entre el primer y el segundo ensayo, se han analizado las evaporaciones medias diarias en períodos idénticos: el primer día (diferencias de pesada antes y después de 24 h de evaporación y con los suelos próximos a capacidad de campo) y los ocho primeros días (diferencias de pesada antes y después de ocho días de evaporación y con los suelos inicialmente próximos a capacidad de campo). Este período de 8 días se seleccionó porque la lluvia del día 9 del ensayo 1 impidió su comparación con el ensayo 2.

Las evaporaciones medias diarias (mm día^{-1}) en el primer día fueron en el primer y segundo ensayo respectivamente, 3.7 y 5.3 (suelo desnudo; evaporación media de los dos ensayos = 4.5), 1.6 y 2.7 (suelo con acolchado de corteza de pino; evaporación media de los dos ensayos = 2.1), y 1.0 y 2.0 (suelo con acolchado de geotextil; evaporación media de los dos ensayos = 1.5). Esto es, las evaporaciones en los distintos tratamientos siguieron en los dos ensayos el mismo orden decreciente (desnudo > corteza pino > geotextil), pero fueron estadísticamente mayores en el segundo que en el primer ensayo.

Tomando como referencia el suelo desnudo, la corteza de pino redujo la evaporación el 57% en el ensayo 1 y el 49% en el ensayo 2 (reducción media de los dos ensayos = 53%), y el geotextil el 73% en el ensayo 1 y el 62% en el ensayo 2 (reducción media de los dos ensayos = 67%). Por lo tanto, el acolchado del suelo con geotextil fue más eficaz para reducir la evaporación que el acolchado con corteza de pino en el primer día de evaporación partiendo de un suelo a capacidad de campo. Sin embargo, ya se ha señalado que en estos ensayos en geotextil no estuvo en contacto directo con el suelo, lo que ha conducido a los resultados anteriores. Cabe indicar que este resultado contradice aparentemente al obtenido en el ensayo de laboratorio (Capítulo III), donde el geotextil estuvo en contacto directo con el suelo húmedo y su evaporación fue mucho más elevada debido a que este material absorbe el agua por capilaridad y evapora la misma en mayor proporción que en el geotextil sin contacto con el suelo.

Si se tiene en cuenta que la ETo media en el período analizado fue de 8.9 mm/día, la evaporación del suelo desnudo en el primer día de evaporación supuso el 50% de la evapotranspiración de referencia.

Las evaporaciones medias diarias (mm día^{-1}) en los 8 primeros días fueron en el primer y segundo ensayo respectivamente, 1.8 y 1.9 (suelo desnudo; evaporación media de los dos ensayos = 1.85), 1.4 y 1.4 (suelo con acolchado de corteza de pino; evaporación media de los dos ensayos = 1.4), y 0.9 y 1.1 (suelo con acolchado de geotextil; evaporación media de los dos ensayos = 1.0). Esto es, las evaporaciones en ambos ensayos fueron estadísticamente similares y siguieron el mismo orden decreciente entre los tratamientos (desnudo > corteza de pino > geotextil).

Tomando como referencia en ambos ensayos un valor de evaporación media del suelo desnudo de 1.85 mm día^{-1} , en los primeros ocho días la evaporación se redujo un 24% con la corteza de pino en ambos ensayos, y un 51% en el primer ensayo y un 40% en el segundo ensayo con el geotextil (reducción media de los dos ensayos = 45%). Por lo tanto, el acolchado del suelo con geotextil fue más eficaz para reducir la evaporación que el acolchado con corteza de pino en los primeros ocho días de evaporación partiendo de un suelo a capacidad de campo. Ya se ha indicado que este resultado puede variar sensiblemente en el caso de que el geotextil esté en contacto directo con el suelo.

Las reducciones de evaporación observadas con los acolchados de suelo en el primer día simularían las obtenidas en la línea de goteros (ML 3 y 4) en condiciones reales de campo, ya que el riego diario impuesto en AFRUCCAS implica un suelo húmedo y próximo a capacidad de campo casi de forma permanente. Las reducciones de evaporación observadas con los acolchados de suelo en el período analizado de ocho días se acercarían más a las obtenidas en la línea de árboles (ML 1 y 2) en condiciones reales de campo, ya que la humedad en esa zona debe ser sensiblemente inferior a capacidad de campo.

A efectos ilustrativos, en este ensayo, los acolchados de corteza de pino y geotextil redujeron la evaporación del suelo un 24% y un 45% respecto a la del suelo desnudo en los primeros ocho días de evaporación partiendo del suelo a capacidad del campo. El promedio de ambos acolchados en este ensayo (35%) es similar al promedio de todos los acolchados con el suelo próximo a capacidad de campo en el ensayo de campo (35%, Riego 3) (capítulo III), aunque las tasas de evaporación fueron mayores en el ensayo con microlisímetros.

- **Evaporación del suelo en distintas posiciones**

La Tabla IV.17 presenta los valores medios de evaporación diaria (mm día^{-1}) de cada tratamiento durante períodos consecutivos del segundo ensayo en las posiciones línea de árboles (LA, promedio de las posiciones 1 y 2), línea de goteros (LG, promedio de las posiciones 3 y 4) y Calle (promedio de las posiciones 5 y 6, en este caso para todos los tratamientos ya que el suelo en las calles estaba siempre desnudo).

Tabla IV.17. Valores medios de evaporación diaria (mm día^{-1}) de cada tratamiento durante períodos consecutivos del segundo ensayo en las posiciones línea de árboles (LA), línea de goteros (LG) y Calle. Para cada posición, valores seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Evaporación media diaria (mm día^{-1}) en el período:								
Tratamiento	Posición ML	26/07- 27/07	27/07- 02/08	02/08- 03/08	03/08- 10/08	10/08- 11/08	11/08- 24/08	24/08- 25/08
Corteza (C)	LA (1+2)	3.0a	1.9a	1.7a	1.1a	0.6a	0.4a	0.1a
	LG (3+4)	2.4a	1.8a	1.5a	1.0a	0.8a	0.5a	0.2a
Geotextil (G)	LA (1+2)	2.5a	1.5a	1.9a	1.1a	0.8a	0.6a	0.2a
	LG (3+4)	1.5a	1.2a	1.6a	1.0a	0.9a	0.6a	0.2a
Desnudo (D)	LA (1+2)	5.9ab	3.2a	1.6ab	0.9ab	0.4a	0.3a	0.1a
	LG (3+4)	4.8a	2.8a	1.9b	1.0b	0.5a	0.3a	0.0a
	Calle (5+6)	6.8b	3.2a	1.3a	0.7a	0.4a	0.3a	0.1a

Los resultados indican que aunque dentro de cada tratamiento la evaporación en la posición LA fue generalmente mayor que en la LG, las diferencias no fueron significativas dentro de cada período. Cabe por lo tanto concluir que la evaporación del suelo en estas dos posiciones fue similar dentro de cada tratamiento.

En el caso del suelo desnudo, únicamente se observaron diferencias significativas entre las posiciones LG y Calle en la primera, tercera y cuarta medida. En la primera medida, la evaporación fue más alta en la Calle que en LG, mientras que fue al revés en la tercera y cuarta medida debido al secado del suelo en los microlisímetros de la Calle por su mayor exposición al sol.

Las posiciones LA y Calle del suelo desnudo fueron estadísticamente similares en todos los períodos de medidas, probablemente debido a que los microlisímetros de la posición LA estaban parcialmente expuestos al sol después del mediodía.

- **Relaciones entre la tasa de evaporación y la humedad del suelo**

La Figura IV.37 presenta las relaciones entre el porcentaje de humedad gravimétrica del suelo (HG) y la evaporación diaria medida en los ML de las posiciones LA, LG y Calle para los tres tratamientos de acolchado del suelo.

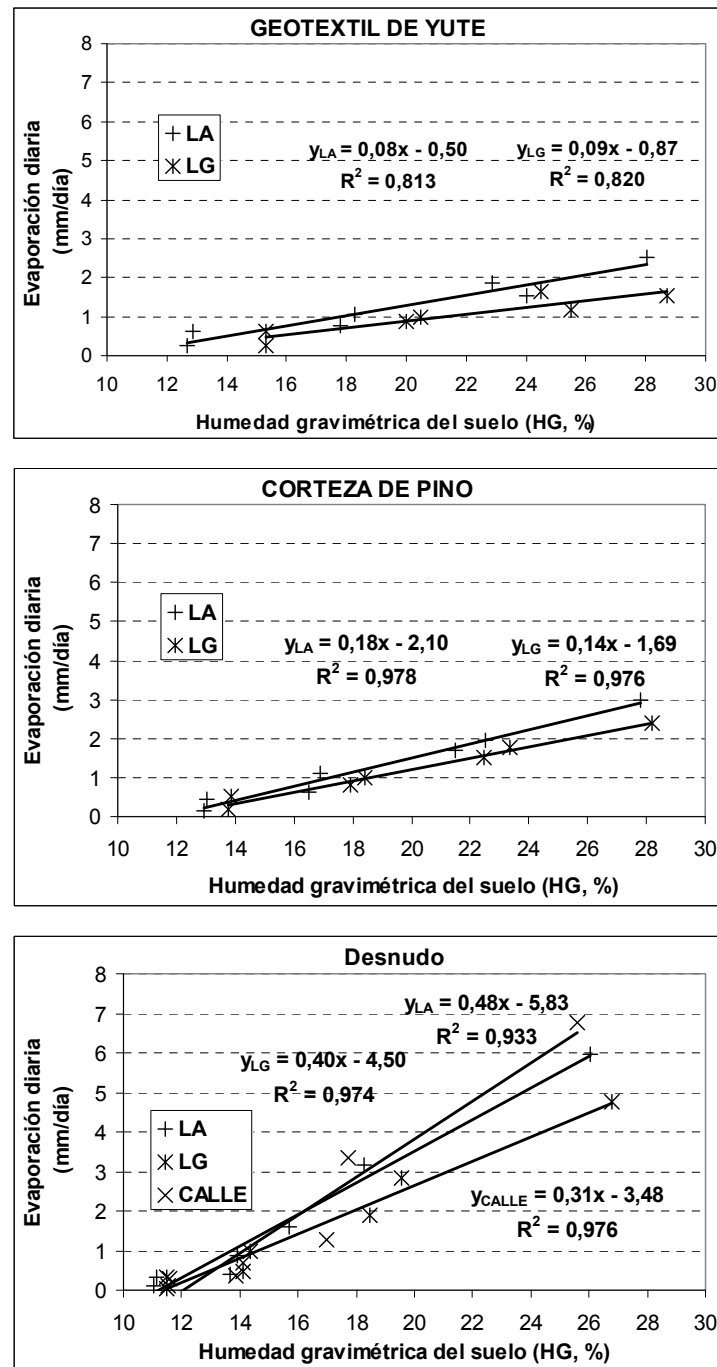


Figura IV.37. Regresiones lineales entre la evaporación diaria y la humedad gravimétrica del suelo en las posiciones línea de árboles (LA), línea de goteros (LG) y Calle de los tratamientos geotextil de yute, corteza de pino y suelo desnudo.

La máxima evaporación se obtuvo en todos los casos para la máxima HG y disminuyó linealmente con el descenso de la HG hasta unos valores próximos a cero. Las ecuaciones de regresión lineal fueron en todos los casos significativas ($P < 0.01$), señalando la estrecha relación entre evaporación y humedad del suelo para un suelo y una demanda evaporativa determinadas.

En base a las pendientes de las ecuaciones, los resultados son coherentes ya que fueron mayores en las tres posiciones del suelo desnudo que soporta una mayor demanda evaporativa (pendientes de 0.48 en la Calle, 0.40 en LG y 0.31 en LA) que en las dos posiciones de los suelos acolchados que soportan una menor demanda evaporativa

(pendientes inferiores a 0.20 en cualquier posición de los tratamientos acolchados). Las ecuaciones presentadas en la Figura IV.37 tienen una ordenada en el origen y una pendiente del mismo orden de magnitud que las ecuaciones correspondientes obtenidas en el ensayo de evaporación de campo sin cultivo (Figura III.13).

IV.3.3.3. Temperatura del suelo

La Figura IV.38 presenta la evolución estacional de la temperatura media diaria del suelo a 20 cm de profundidad y a 20 cm del gotero en los cuatro tratamientos de acolchado, así como la temperatura media diaria del aire medida en la estación meteorológica instalada en el ensayo para el periodo experimental de 2010 a 2012. En el primer año experimental, las medidas de la temperatura del suelo fueron a partir del mes de abril. La temperatura del aire presenta mayores fluctuaciones que la del suelo. Bajo los diferentes tipos de cubiertas se producen diferentes variaciones en la temperatura con unas mayores diferencias entre los tratamientos observadas sobre todo en el verano. Los valores máximos se alcanzaron en el tratamiento con plástico, con variaciones de hasta 3 °C por encima de los restantes tratamientos.

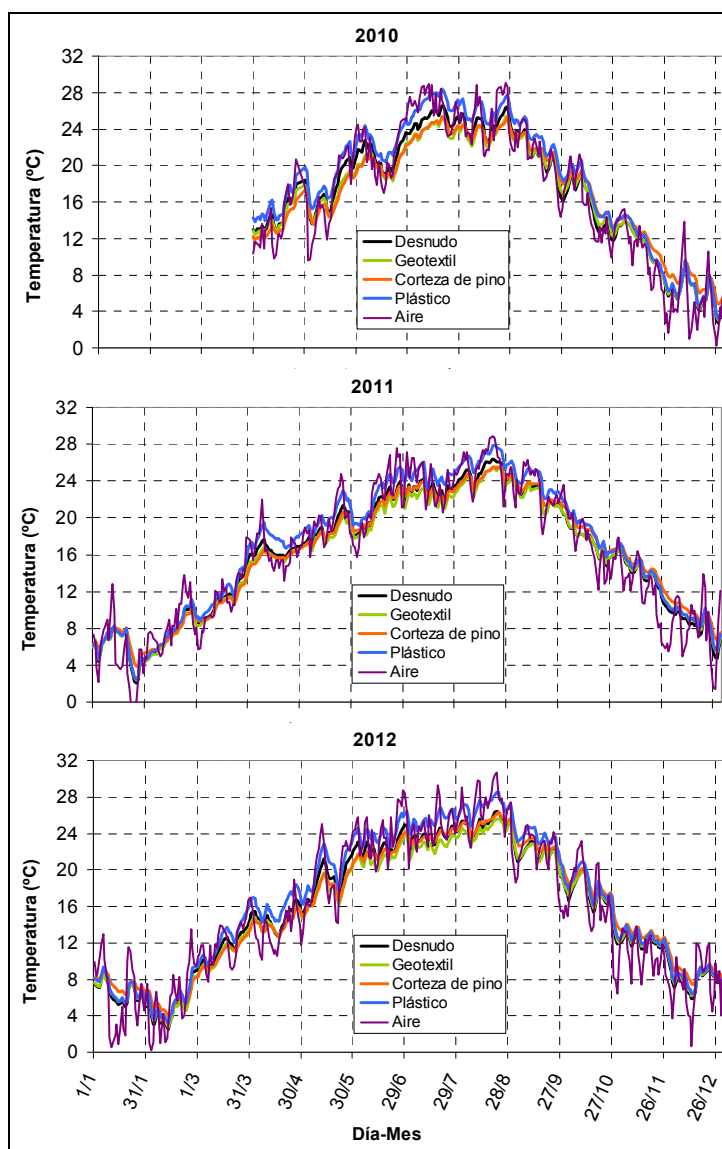


Figura IV.38. Evolución de los valores diarios de la temperatura media del aire (°C) y del suelo a 20 cm de profundidad y a 20 cm del gotero en los diferentes tratamientos de acolchado del suelo durante los años 2010 a 2012.

La Figura IV.39 y la Tabla IV.18 presentan los valores medios mensuales de la temperatura media diaria del suelo a 20 cm de profundidad en los cuatro tratamientos de acolchado y en el aire durante el periodo experimental de 2010 a 2012.

Las máximas temperaturas se observaron en el mes de julio para el año 2010 y en el mes de agosto para los años 2011 y 2012. En el año 2010 y durante el periodo de abril a diciembre, la temperatura media del aire osciló entre 5.1 y 26.5 °C. El tratamiento de plástico (polietileno negro) tuvo una temperatura media estacional del suelo de 18.5 °C mayor del resto de los tratamientos que tuvieron una temperatura en el entorno de 17 °C pero sin diferencia significativa (Tabla IV.18).

En los años 2011 y 2012, en los que la recogida de datos de la temperatura del suelo fue desde enero hasta diciembre, la temperatura del aire varió entre 5 y 25.8 °C para el 2011 y entre 5.7 °C y 26.8 °C para el 2012. La temperatura media del tratamiento plástico fue más alta que el resto de los tratamientos en ambos años pero sin diferencia significativa. Este tratamiento fue seguido por los tratamientos corteza de pino y el control de suelo desnudo mientras que el tratamiento geotextil tuvo la temperatura de suelo más baja. En cuanto al periodo desde abril hasta diciembre del año 2011 y 2012, la temperatura del suelo bajo el plástico fue más alta que el resto de los tratamientos pero sin diferencia significativa.

Durante todo el periodo experimental, la temperatura media mensual del suelo bajo plástico fue significativamente más alta en comparación con el resto de los tratamientos desde abril hasta septiembre en 2010, desde febrero hasta septiembre en 2011 y desde marzo hasta septiembre en 2012. En el mes de octubre, fueron los tratamientos corteza de pino y plástico los que aumentaron la temperatura de suelo de una manera significativa en comparación con el geotextil y el control de suelo desnudo. Sin embargo a partir de noviembre, la temperatura de suelo bajo la corteza de pino fue estadísticamente más alta que la del resto de los tratamientos excepto en 2010 en el que fue similar a la temperatura de suelo bajo el plástico.

Durante los meses del verano, el tratamiento geotextil fue el tratamiento que conservó unas temperaturas de suelo más bajas debido a sus características que mantiene el suelo húmedo por la superficie (Tabla IV.18, Figura IV.39).

La Figura IV.40 presenta la evolución diaria de las diferencias de la temperatura del suelo entre los distintos acolchados y el control de suelo desnudo. Las diferencias entre el plástico y el control fueron positivas en todo el periodo experimental. Estas diferencias alcanzaron el valor de 2.3 °C en el ver²ano de los tres años.

Las diferencias entre la temperatura del suelo bajo la corteza de pino y la temperatura del suelo desnudo fueron positivas en el invierno con un valor máximo de 2 °C y negativas en el resto del año con un valor mínimo de -2 °C en 2010 y -1.5 °C en 2011 y 2012.

En el caso del geotextil, las diferencias de la temperatura del suelo con el control fueron negativas sobre desde febrero hasta septiembre con un mínimo de -1.7 °C en 2010 y 2012 y -1.2 °C en 2011 y un máximo de 0.8 °C en 2010 y 2011 y 0.6 °C en 2012.

Durante los meses de verano se observa que la temperatura del suelo en el acolchado plástico estuvo por encima de la del suelo desnudo y en los meses de invierno el acolchado de corteza de pino presentó las temperaturas más altas respecto al suelo desnudo (Figura IV.43).

La Figura IV.41 presenta la evolución de los valores semihorarios de la temperatura del suelo de los cuatro tratamientos de acolchado y del aire en los días más fríos y más cálidos de los años 2010, 2011 y 2012. En todas las fechas se observa una fuerte amplitud de la temperatura del aire mientras que la temperatura del suelo permanece mucho más constante a pesar de estos fuertes cambios de la temperatura del aire. Las temperaturas nocturnas en el suelo en los distintos tratamientos de acolchado fueron ligeramente más elevadas que las diurnas debido al retardo en el efecto de la mayor temperatura diurna del aire en el suelo y a que el riego se aplica siempre por la mañana. Durante los días más

cálidos la temperatura del suelo bajo el plástico se mantuvo durante las 24 horas del día por encima del resto de tratamientos mientras que en los días más fríos el acolchado de corteza de pino fue el que mantuvo una temperatura del suelo mayor que el resto de tratamientos (Figura IV.41).

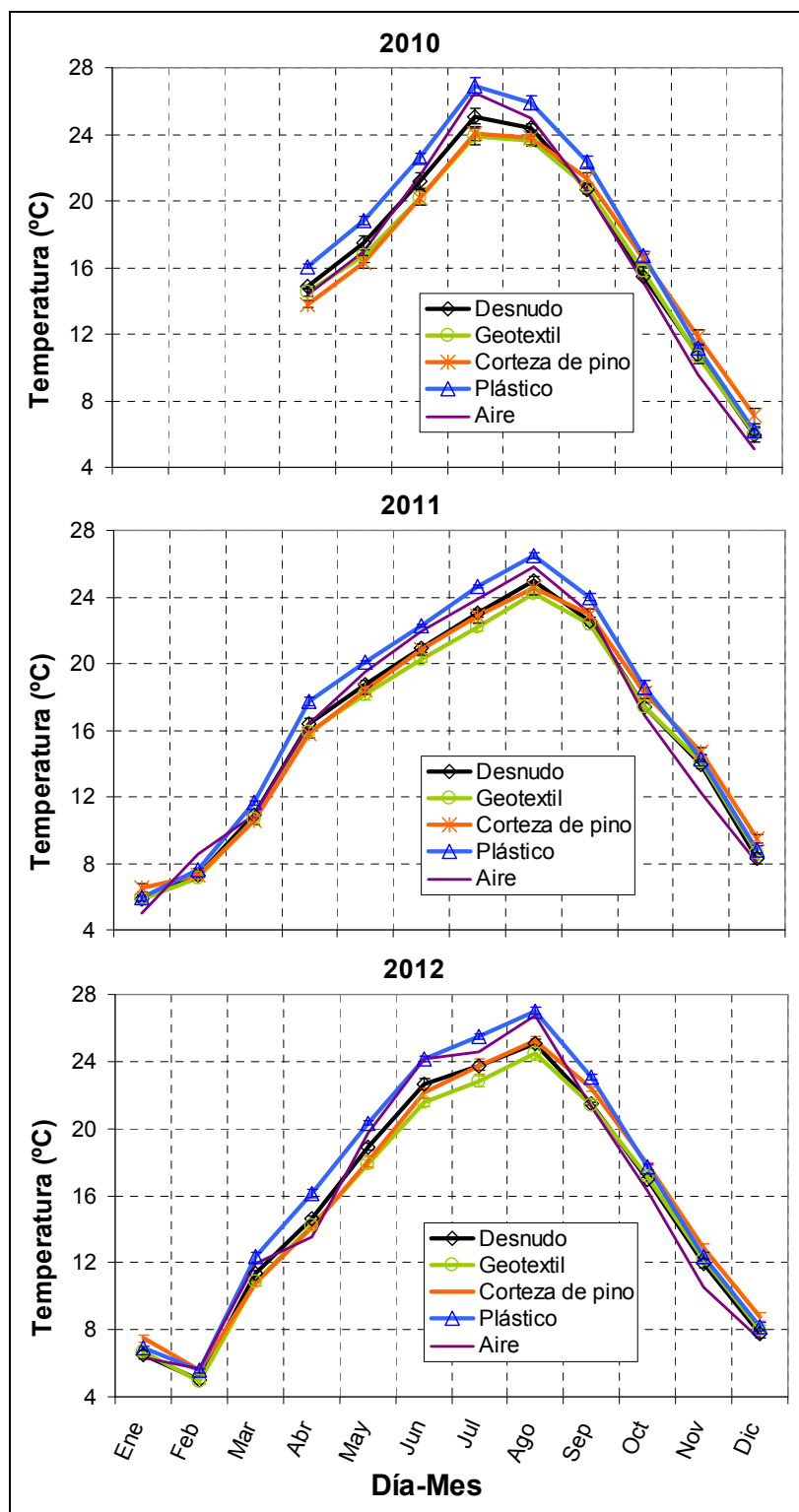


Figura IV.39. Evolución de los valores medios mensuales de la temperatura media diaria del suelo a 20 cm de profundidad en los cuatro tratamientos de acolchado y en el aire durante el periodo experimental del ensayo de nectarina

Tabla IV.18. Valores medios mensuales de la temperatura media diaria del suelo a 20 cm de profundidad en los cuatro tratamientos de acolchado (D, desnudo; G, geotextil; C, corteza y P, plástico) y en el aire durante el periodo experimental de la nectarina. Valores seguidos de distinta letra son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Año	2010					2011					2012				
	D	G	C	P	Aire	D	G	C	P	Aire	D	G	C	P	Aire
Enero						5.8a	5.8a	6.5b	6.0a	5.0	6.5a	6.6ab	7.5c	6.9b	6.3
Febrero						7.3a	7.1a	7.3a	7.6b	8.5	5.0a	5.0a	5.6b	5.6b	5.7
Marzo						10.9b	10.6a	10.5a	11.6c	10.8	11.4b	10.9a	10.8a	12.3c	12.0
Abril	14.9b	14.5b	13.8a	16.1c	14.4	16.4b	15.9a	15.8a	17.7c	16.4	14.7b	14.2a	14.1a	16.1c	13.5
Mayo	17.5b	16.7a	16.3a	18.8c	17.0	18.7b	18.2a	18.4b	20.1c	19.5	18.9b	17.9a	18.1a	20.4c	19.7
Junio	21.2b	20.2a	20.2a	22.6c	21.5	20.9b	20.2a	20.9b	22.3c	22.0	22.7c	22.1b	21.5a	24.1d	24.2
Julio	25.1b	23.9a	24.0a	26.9c	26.5	23.0b	22.2a	22.8b	24.6c	23.9	23.7b	22.8a	23.7b	25.2c	24.6
Agosto	24.4b	23.6a	23.8a	25.9c	25.0	25.0b	24.2a	24.5a	26.5c	25.8	25.1b	24.5a	25.2b	27.0c	26.8
Septiembre	20.7a	20.8a	21.4b	22.4c	20.6	22.5a	22.3a	22.9b	24.0c	23.0	21.4a	21.4a	22.4b	23.1c	21.3
Octubre	15.4a	15.8a	16.5b	16.7b	15.1	17.4a	17.4a	18.3b	18.5b	16.9	17.0a	17.1a	17.9b	17.7b	16.3
Noviembre	10.7a	10.7a	11.8b	11.2ab	9.5	13.9a	14.1a	14.7b	14.3a	12.2	12.0a	12.2ab	12.8c	12.4b	10.5
Diciembre	5.9a	6.0a	7.1b	6.2a	5.1	8.3a	8.7b	9.5c	8.8b	8.1	7.7a	8.0ab	8.7c	8.2b	7.5
Media Abril-Dic	17.2a	16.9a	17.2a	18.5a	17.1	18.5a	18.1a	18.6a	19.6a	18.6	18.1a	17.7a	18.3a	19.4a	18.3
Media Total	-	-	-	-	-	15.8a	15.6a	16.0a	16.8a	16.0	15.5a	15.2a	15.7a	16.6a	15.7

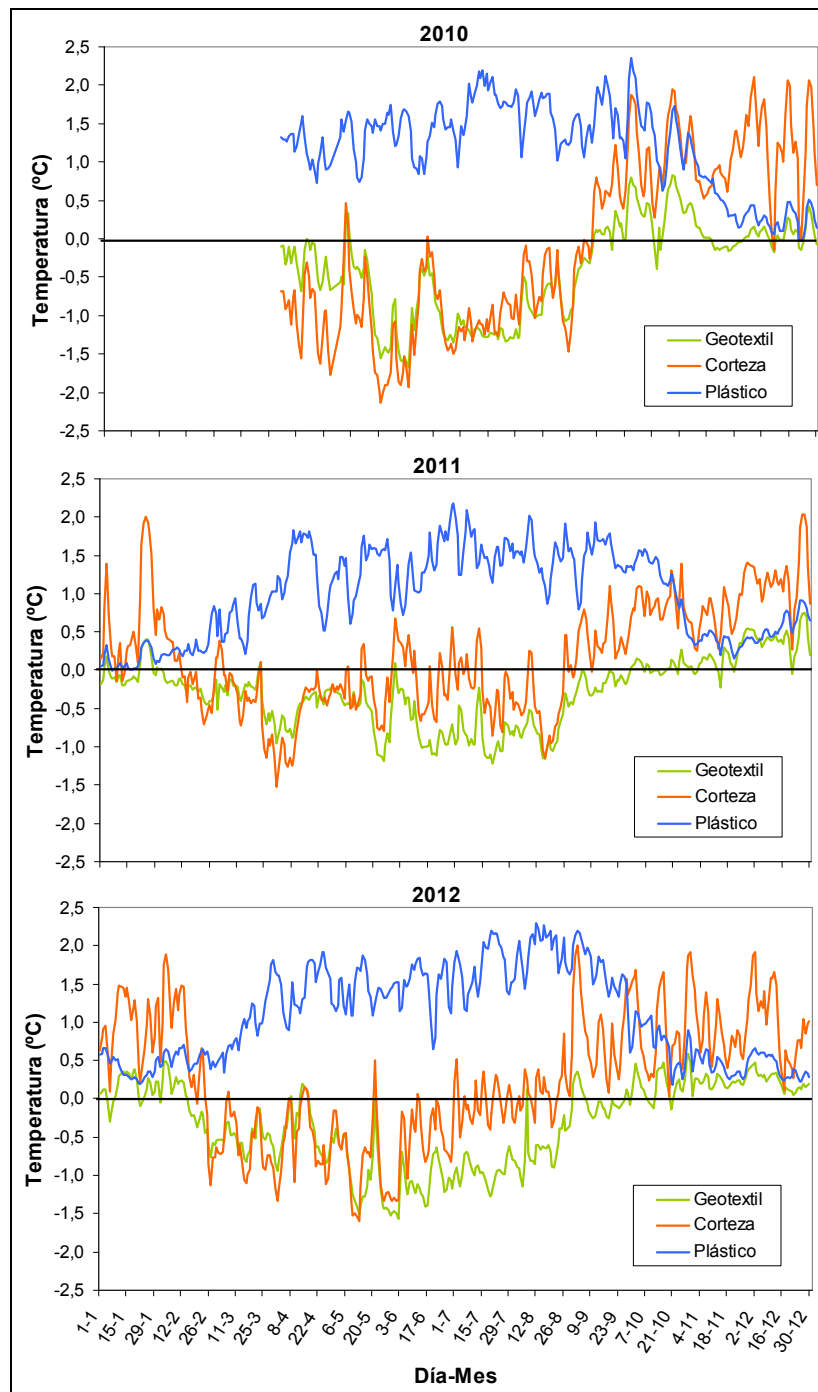


Figura IV.40. Evolución diaria de las diferencias de temperatura del suelo entre los acolchados y el control de suelo desnudo durante el periodo experimental del ensayo de la nectarina.

Durante los días del invierno, la temperatura del suelo presentó menores variaciones que durante el verano (Tabla IV.19). El tratamiento de corteza de pino fue el tratamiento más estable con pequeñas variaciones independientemente de la estación, seguido por el tratamiento geotextil (Tabla IV.19). El tratamiento de plástico tuvo una oscilación de la temperatura similar a la del suelo desnudo y en general muy superior a la del geotextil y corteza. Así, los resultados muestran que existe un efecto regulador de la temperatura del suelo bajo las cubiertas de geotextil y corteza de pino debido a que el acolchado amortiguó los picos máximos y mínimos de temperaturas en el suelo. Estos resultados apoyan las

conclusiones obtenidas por Walsh et al. (1996) que encontraron también que el acolchado de suelo de un cultivo de manzano con la paja y el estiércol disminuyó la variabilidad estacional de la temperatura en comparación con el suelo desnudo.

Durante las tres fechas invernales analizadas en los tres años, el tratamiento de corteza de pino presentó las temperaturas más altas a lo largo de todo el día mientras que en los días verano fue el suelo bajo plástico el que mantuvo la temperatura más alta a lo largo de todo el día.

Tabla IV.19. Diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas bajo los distintos acolchados del suelo y del control de suelo desnudo en tres días muy fríos y muy cálidos de los años 2010, 2011 y 2012.

	Oscilación de la temperatura del suelo (°C)			
	Desnudo	Geotextil	Corteza	Plástico
28/12/2010	0.6	0.4	0.4	0.6
20/07/2010	1.1	0.7	0.3	1.5
26/01/2011	0.4	0.4	0.4	0.5
22/08/2011	1.0	0.7	0.3	0.9
03/02/2012	1.4	1.2	0.9	1.4
21/08/2012	1.2	0.9	0.5	1.2

Así las temperaturas medidas a 20 cm de profundidad del suelo variaron según el tiempo y el tratamiento acolchado. Estas temperaturas fueron significativamente más altas debajo del acolchado plástico durante la primavera y el verano debido a su impermeabilidad al intercambio con el aire y a su color. Unos resultados similares fueron observados en un cultivo de manzano en el que acolchado plástico aumentó significativamente la temperatura del suelo en comparación con el control de suelo desnudo desde marzo hasta septiembre (Neilsen et al., 1986).

El acolchado del suelo con la corteza de pino aumentó la temperatura del suelo durante el invierno. Esto muestra por una parte el papel beneficioso del geotextil y de la corteza de pino en la conservación de una temperatura de suelo más baja durante los meses de verano, así como la amortiguación del calor excesivo sobre todo en zonas con verano muy caliente como la zona de estudio. Dancer (1964) observó un descenso de la temperatura del del suelo en verano en plantaciones frutales con una cubierta de hierba y con acolchado de paja en comparación con un suelo sin cubierta.

Por otra parte, el aumento de la temperatura puede ser beneficioso en el adelanto de la cosecha y en el aumento del rendimiento como ha sido demostrado en varios cultivos (Cooper, 1973; Diaz-Pérez y Batal, 2002; Ibarra-Jimenez et al., 2006; Lamont, 2005).

Bhattacharyya et al., (2012), mostraron que el geotextil modera el microclima del suelo ya que aumenta la disponibilidad de agua y disminuye la amplitud térmica lo que favorece la germinación de las semillas. Sutherland et al., (1998) mostraron que los materiales de geotextil disminuyen las oscilaciones térmicas del suelo ya que aumentan las temperaturas mínimas y disminuyen las temperaturas máximas del suelo. Ramakrishna et al., (2006), mostraron en un cultivo de cacahuete que el acolchado plástico aumenta significativamente la temperatura del suelo a 5 y a 10 cm de profundidad en comparación con los tratamientos control de suelo desnudo y paja de trigo. Moreno y Moreno (2008) mostraron que el acolchado del suelo de un cultivo de tomate con el plástico negro aumentó la temperatura del suelo a lo largo de la estación del cultivo en comparación con el suelo desnudo. Estos autores indicaron que este efecto del plástico puede ser beneficioso en las zonas frías y puede tener unos efectos negativos sobre el suelo y el cultivo en las zonas cálidas.

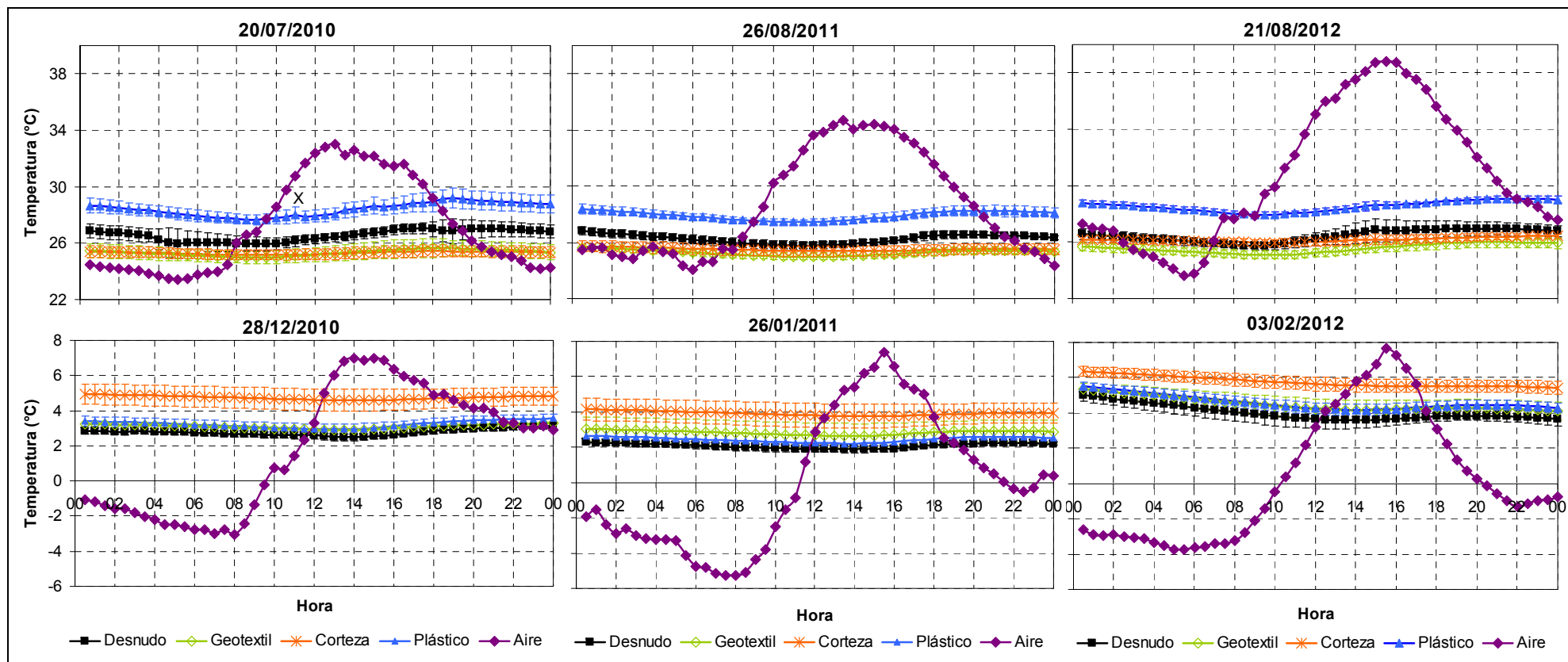


Figura IV.41. Evolución de los valores semihorarios de la temperatura del aire y la del suelo bajo los cuatro sistemas de acolchado en los días más fríos y más cálidos de los años 2010, 2011 y 2012.

IV.3.3.4. Humedad del suelo

IV.3.3.4.1. Método gravimétrico

El seguimiento de la humedad gravimétrica del suelo (0-45 cm de profundidad) se efectuó al inicio y al final de cada estación de riego en tres posiciones de muestreo (gotero, línea de goteros y línea de árboles). Los muestreos de suelo fueron el 15 de marzo y el 30 de septiembre de 2010, el 7 de abril y el 13 de septiembre de 2011 y el 23 de febrero y el 13 de septiembre de 2012.

En 2010, la humedad gravimétrica (HG) media, considerando todos los tratamientos de acolchado y posiciones de muestreo, fue de 20.4% en marzo y de 22.5% en septiembre (Tabla IV.20). La humedad en septiembre fue algo mayor que en marzo, probablemente debido a las mayores dosis de riego en este último mes y a una lluvia de 40 mm que se produjo en las dos semanas anteriores al muestreo de septiembre.

En 2011, la humedad fue 23.9% en abril y 21.3% en septiembre respectivamente. La humedad fue mayor al inicio que al final de la estación de riego debido a las lluvias que alcanzaron 80 mm desde el inicio de la estación de riego (1 de marzo) hasta la fecha de muestreo además del riego diario aplicado.

En 2012, la humedad del muestreo final (20%) fue más elevada que la del muestreo inicial (16%) ya que este último se realizó antes del inicio de los riegos al contrario de los años anteriores,. Tampoco se registraron lluvias con anterioridad al muestreo.

En todas las fechas de medida los valores medios de la HG fueron inferiores a la capacidad de campo del suelo (26%), debido a que una de las posiciones de muestreo estaba en la línea de árboles, a la baja dosis de riego al inicio de cada estación de riego y a la importante extracción de agua por la nectarina en septiembre.

Tabla IV.20. Porcentaje de humedad gravimétrica media (HG), número de muestras recogidas (N), Desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) de las muestras de suelo durante el periodo experimental de la nectarina de 2010 a 2012 en el perfil de suelo de 0-45 cm y en las posiciones de muestreo gotero, línea de goteros y línea de árboles.

Humedad gravimétrica del suelo (0-45 cm de profundidad) (%)			
2010	Marzo	Septiembre	Media
N	48	48	96
Media	20.4	22.5	21.5
DE	2.3	4.3	3.6
CV	11%	19%	17%
2011	Abril	Septiembre	Media
N	48	48	96
Media	23.9	21.3	22.6
DE	3.4	5.9	4.9
CV	14%	27%	22%
2012	Febrero	Septiembre	Media
N	48	48	96
Media	16.0	20.0	18.0
DE	2.1	3.0	3.3
CV	13%	48%	18%

En los tres años del ensayo, la HG fue mayor en el gotero que en la línea de goteros y línea de árboles (Tablas IV.21 a IV.23). Generalmente no hubo muchas diferencias en la HG media del suelo entre los tratamientos de acolchado. En la estación de riego de 2010, los tratamientos geotextil y plástico tuvieron la mayor HG media en marzo, mientras que en septiembre la HG media fue mayor en los tratamientos de plástico y corteza de pino. Los valores medios de HG en los meses de marzo y septiembre fueron muy similares en todos los tratamientos de acolchado. Todos los tratamientos de acolchado tuvieron una HG estadísticamente similar en las distintas posiciones de muestreo, la única diferencia se observó en la posición gotero del muestreo de septiembre entre los tratamientos plástico y geotextil.

Tabla IV.21. Variabilidad espacio-temporal de la humedad gravimétrica del suelo (HG, 0-45 cm de profundidad): valores medios, número de muestras de suelo (N), Desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) en cada tratamiento de acolchado y posición de muestreo de suelo en marzo y septiembre de 2010. Para cada posición de muestreo, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos.

Año 2010									
Humedad gravimétrica del suelo (0-45 cm de profundidad) (%)									
Fecha	Marzo				Septiembre				
Posición de muestreo del suelo	Gotero	Línea goteros	Línea árboles	Media	Gotero	Línea goteros	Línea árboles	Media	
Desnudo	N	4	4	4	12	4	4	4	12
	Media	22.3	21.0	17.2	20.2	26.7ab	22.2	18.3	22.4
	DE	0.3	1.3	1.1	2.4	2.1	2.7	2.1	4.2
	CV	1%	6%	6%	12	8%	12%	12%	19%
Geotextil	N	4	4	4	12	4	4	4	12
	Media	22.7	21.8	17.9	20.8	24.9a	23.1	16.4	21.5
	DE	1.8	1.6	1.1	2.6	1.3	2.8	3.8	4.6
	CV	8%	7%	6%	12	5%	12%	23%	21%
Corteza de pino	N	4	4	4	12	4	4	4	12
	Media	22.4	20.6	17.5	20.2	26.4ab	24.0	19.8	23.4
	DE	0.8	0.7	0.3	2.0	1.5	2.1	3.7	3.7
	CV	4%	4%	2%	10	6%	9%	19%	16%
Plástico	N	4	4	4	12	4	4	4	12
	Media	22.1	21.5	17.8	20.5	27.4b	22.4	18.6	22.8
	DE	0.5	0.5	1.7	2.2	1.3	3.3	4.6	4.8
	CV	2%	2%	10%	11	5%	15%	24%	21%
Media	N	16	16	16	48	16	16	16	48
	Media	22.4	21.2	17.6	20.4	26.4	22.9	18.3	22.5
	DE	1.0	1.1	1.1	2.3	1.7	2.6	3.5	4.3
	CV	4%	5%	6%	11%	6%	11%	19%	19%

En la estación de riego de 2011, la HG media fue mayor en los tratamientos corteza y geotextil mientras que en septiembre fue mayor en el plástico que en el resto de los tratamientos. La comparación de la HG de los varios tratamientos de acolchado en las tres

posiciones de muestreo reveló una HG estadísticamente más alta en el tratamiento corteza que en los tratamientos de suelo desnudo y plástico en la posición gotero del muestreo de abril.

Tabla IV.22. Variabilidad espacio-temporal de la humedad gravimétrica del suelo (HG, 0-45 cm de profundidad): valores medios, número de muestras de suelo (N), Desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) en cada tratamiento de acochado y posición de muestreo de suelo en abril y septiembre de 2011. Para cada posición de muestreo, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos.

Año 2011									
Humedad gravimétrica del suelo (0-45 cm de profundidad) (%)									
Fecha	Abril				Septiembre				
Posición de muestreo del suelo	Gotero	Línea goteros	Línea árboles	Media	Gotero	Línea goteros	Línea árboles	Media	
Desnudo	N	4	4	4	12	4	3	4	11
	Media	26.7a	23.3	18.7	22.9	24.4	24.6	13.3	20.4
	DE	0.6	2.2	0.9	3.7	0.8	1.5	1.1	5.3
	CV	2%	10%	5%	16%	3%	6%	8%	2%5
Geotextil	N	4	4	4	12	4	4	4	12
	Media	28.0ab	24.2	20.3	24.1	24.9	23.0	13.5	20.5
	DE	0.9	0.7	1.3	3.4	1.1	2.3	1.7	5.4
	CV	3%	3%	6%	14%	5%	10%	13%	27%
Corteza de pino	N	4	4	4	12	4	4	4	12
	Media	29.0b	24.2	20.9	24.7	25.8	19.9	14.7	20.1
	DE	1.4	1.6	0.2	3.6	0.8	9.6	1.4	6.9
	CV	5%	7%	1%	15%	3%	48%	10%	34%
Plástico	N	4	4	4	12	4	4	3	11
	Media	26.7a	24.0	20.7	23.8	25.3	22.6	16.4	21.9
	DE	0.4	1.9	1.2	2.8	0.7	2.1	2.5	4.1
	CV	1%	8%	6%	12%	3%	9%	15	19
Media	N	16	16	16	48	16	15	16	46
	Media	27.6	23.9	20.2	23.9	25.1	22.4	15.8	21.5
	DE	1.3	1.6	1.3	3.4	0.9	5.0	6.0	5.0
	CV	5%	7%	6%	14%	4%	22%	38%	23

En la estación de riego de 2012, la HG media del tratamiento plástico fue más alta que el resto de los tratamientos tanto en febrero como en septiembre. En el muestreo de febrero la HG fue significativamente más alta en el tratamiento plástico que en el tratamiento desnudo en la posición línea de goteros. En el muestreo de septiembre, la HG fue significativamente más alta en el tratamiento plástico en la posición línea de árboles, seguido por el tratamiento corteza de pino, seguidos por el control de suelo desnudo y finalmente por el geotextil.

Como conclusión, a pesar de la no significación estadística, los tratamientos de plástico y corteza de pino tuvieron en general una HG media de las tres posiciones de muestreo mayor que los tratamientos geotextil y control de suelo desnudo.

Tabla IV.23. Variabilidad espacio-temporal de la humedad gravimétrica del suelo (HG, 0-45 cm de profundidad): valores medios, número de muestras de suelo (N), Desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) en cada tratamiento de acochado y posición de muestreo de suelo en febrero y septiembre 2012. Para cada posición de muestreo, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos.

Año 2012									
Humedad gravimétrica del suelo (0-45 cm de profundidad) (%)									
Fecha	Febrero				Septiembre				
Posición de muestreo del suelo	Gotero	Línea goteros	Línea árboles	Media	Gotero	Línea goteros	Línea árboles	Media	
Desnudo	N	4	4	4	12	4	4	4	12
	Media	17.4	14.9a	14.9	15.2	21.2	21.0	16.8b	19.7
	DE	0.9	0.9	0.9	1.9	2.0	2.8	1.1	2.8
	CV	5%	6%	6%	13%	9%	13%	7%	14%
Geotextil	N	4	4	4	12	4	4	4	12
	Media	17.8	16.1ab	16.1	15.9	20.9	18.2	15.0a	18.0
	DE	2.3	1.2	1.2	2.4	2.7	3.7	1.0	3.5
	CV	13%	8%	8%	15%	13%	20%	6%	19%
Corteza de pino	N	4	4	4	12	4	4	4	12
	Media	17.8	15.9ab	15.9	16.1	22.4	21.5	18.2c	20.7
	DE	1.1	1.6	1.6	1.8	2.4	3.2	0.2	2.8
	CV	6%	10%	10%	11%	11%	15%	1%	13%
Plástico	N	4	4	4	12	4	4	4	12
	Media	19.0	17.2b	17.2	16.8	23.7	20.2	20.4d	21.5
	DE	0.9	0.1	0.1	2.2	0.7	2.1	0.5	2.1
	CV	5%	1%	1%	13%	3%	10%	2%	10%
Media	N	16	16	16	48	16	16	16	48
	Media	18.0	16.0	16.0	16.0	22.1	20.2	17.6	20.0
	DE	1.4	1.3	1.3	2.1	2.2	3.0	2.2	3.0
	CV	8%	8%	8%	13%	10%	15%	12%	15%

En los tres años del ensayo de la nectarina, la HG fue significativamente diferente entre las distintas posiciones (Tabla IV.24), un resultado esperado debido a la distribución no homogénea de agua en el riego por goteo. Los valores de HG en las distintas posiciones de muestreo indican que el contenido de agua en el suelo fue significativamente menor en la línea de árboles que en la línea de goteros (Tabla IV.24), a pesar de que sus distancias al gotero era idénticas (50 cm).

Ello es debido a que el caudal de los goteros superaba en ciertos momentos del riego la tasa de infiltración de agua en el suelo, razón por la cual se practicó un pequeño surco bajo la línea de goteros con el objetivo de recoger el agua no infiltrada. Por esta razón, la HG en la línea de goteros fue significativamente mayor que en la línea de árboles (Tabla IV.24), ya que la cantidad de agua infiltrada en la misma fue mayor que la que cabría esperar en el caso de un sistema de goteros con caudales de riego inferiores a la tasa de infiltración del agua en el suelo.

Tabla IV.24. Humedad gravimétrica del suelo (HG, 0-45 cm de profundidad) media de los muestreo iniciales y finales del suelo y los cuatro tratamientos de acolchado de suelo en las posiciones de muestreo gotero, línea de goteros y línea de árboles.

HG media del suelo del muestreo inicial y final de las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012 de los cuatro acolchados de suelo (%)			
Año	Gotero	Línea goteros	Línea árboles
2010			
N	32	32	32
Media	24.4c	22.1b	18.0a
DE	2.4	2.2	2.6
CV	10%	10%	14%
2011			
N	32	32	32
Media	26.4c	23.3b	18.2a
DE	1.6	3.6	4.7
CV	6%	16%	26%
2012			
N	32	32	32
Media	20.0c	18.1b	15.8a
DE	2.7	3.1	2.5
CV	14%	17%	16%

IV.3.3.4.2. Método FDR

- **Evolución de la humedad del suelo con las medidas de la sonda Diviner 2000**

En 2010 y 2011 se midió la humedad del suelo con la sonda Diviner 2000 a intervalos semanales y en 2012 los intervalos de medida se ampliaron a 2 semanas. Las Figuras IV.42 a IV.44 presentan la evolución de la altura de agua almacenada en el perfil 0 a 30 cm de profundidad en los distintos tratamientos de acolchado. Se ha tomado este perfil del suelo porque es donde se concentra la máxima densidad de raíces de la nectarina. Los datos de las figuras corresponden a las medidas registradas con la sonda Diviner 2000 junto al gotero (Gotero) y a 50 cm del gotero en la línea de árboles (Línea de árbol) para los tres años y además a 50 cm del gotero en la misma línea de goteros (Línea de goteros) para los años 2011 y 2012.

En estas figuras se observa que la medida de la altura de agua acumulada en el suelo mediante la sonda Diviner en los años 2010, 2011 y 2012 fue en general más similar entre los tratamientos de acolchado en la posición gotero y línea de goteros que en la posición línea de árboles.

En 2010 y 2011 se efectuaron dos cortes de riego para ver el efecto de un estrés hídrico moderado en la humedad y salinidad del suelo. En 2010, el primer corte de riego fue de 3 días (desde el 31/07/2010 hasta el 2/08/2010) mientras que el segundo fue de 8 días (desde el 19/08/2010 hasta 26/08/2010. Después de estos cortes de riego, el contenido de agua en el suelo disminuyó de forma más acusada debajo del gotero que en la línea de árboles debido a la mayor actividad radicular en las zonas de influencia de los goteros. En 2011, el corte de riego fue el 14 de julio y duró 7 días y produjo un mayor descenso de la humedad en la posición gotero y línea de goteros que en la línea de árboles. En las figuras

IV.43 y 44 se observa claramente el efecto de estos cortes del riego en la evolución de la altura de agua almacenada en el suelo de 0 a 30 cm de profundidad.

En 2012, no se efectuaron cortes de riego y los valores de la altura de agua almacenada en el suelo permanecieron constantes a lo largo de la estación de riegos pero dichos valores fueron muy inferiores a los de los años 2010 y 2011. Los valores de las alturas de agua almacenada de 0 a 30 cm fue ligeramente mayor en la posición gotero que en las posiciones línea de goteros y línea de árboles.

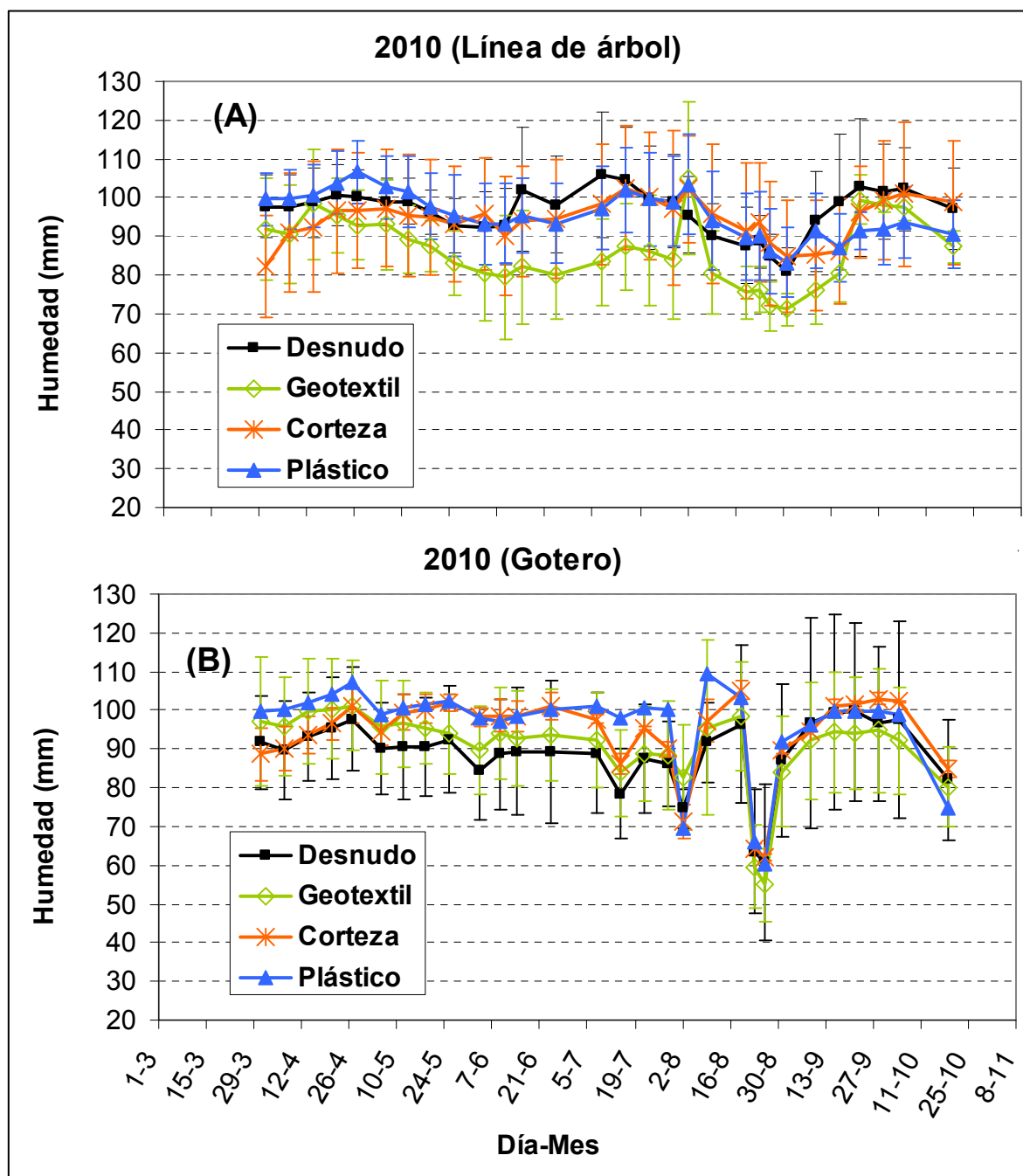


Figura IV.42. Evolución semanal de de las alturas de agua acumuladas en el perfil de suelo de 0 a 30 cm de profundidad (Humedad, mm) determinadas a partir de las medidas de la humedad volumétrica con la sonda Diviner 2000 en la línea de árboles (A) y en el gotero (B) en los tratamientos de acolchado del suelo durante la estación de riego de 2010. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar.

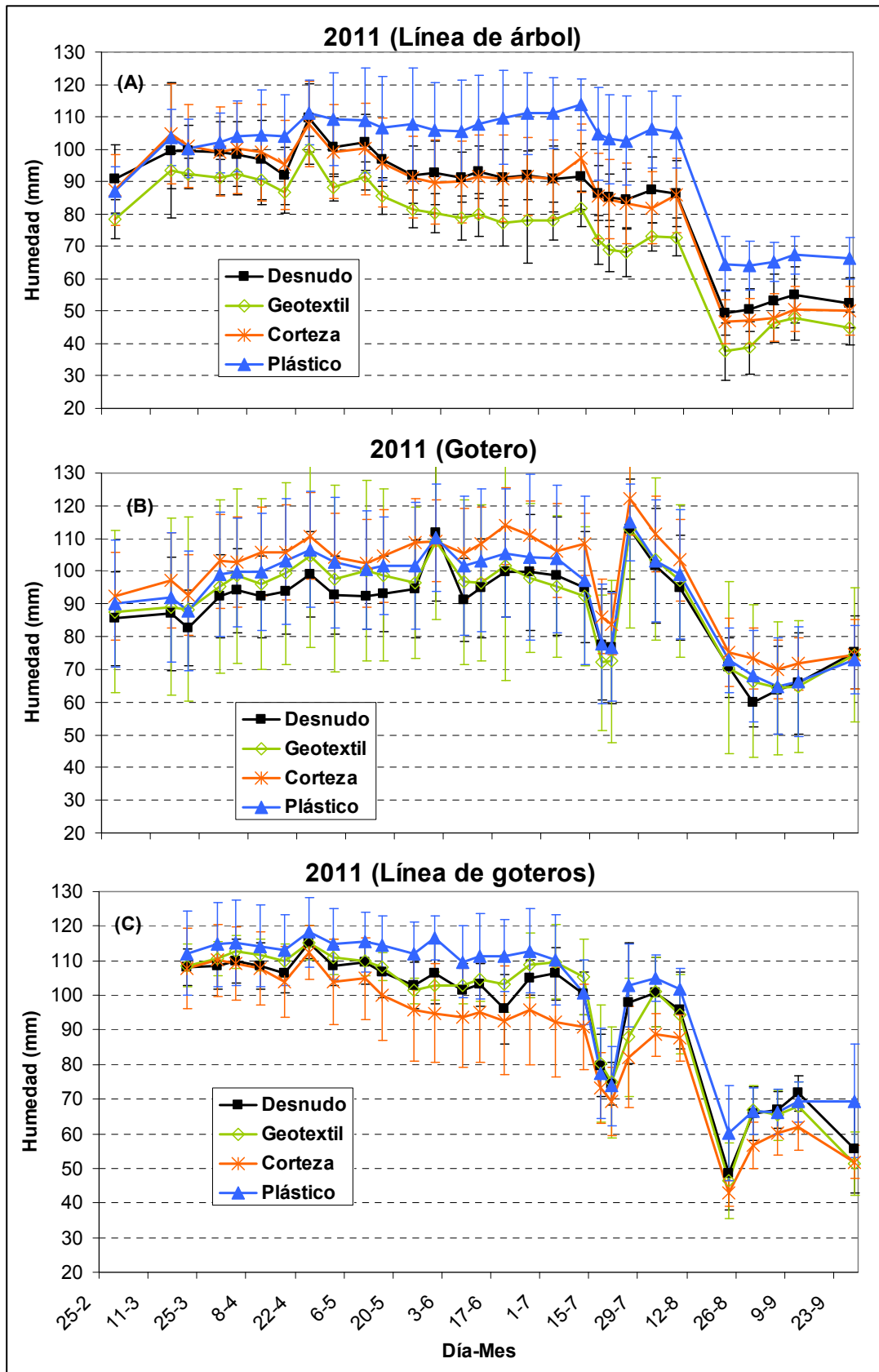


Figura IV.43. Evolución semanal de de las alturas de agua acumuladas en el perfil de suelo de 0 a 30 cm de profundidad (Humedad, mm) determinadas a partir de las medidas de la humedad volumétrica con la sonda Diviner 2000 en la línea de árboles (A), en el gotero (B) y en la línea de goteros (C) en los tratamientos de acolchado del suelo durante la estación de riego de 2011. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar.

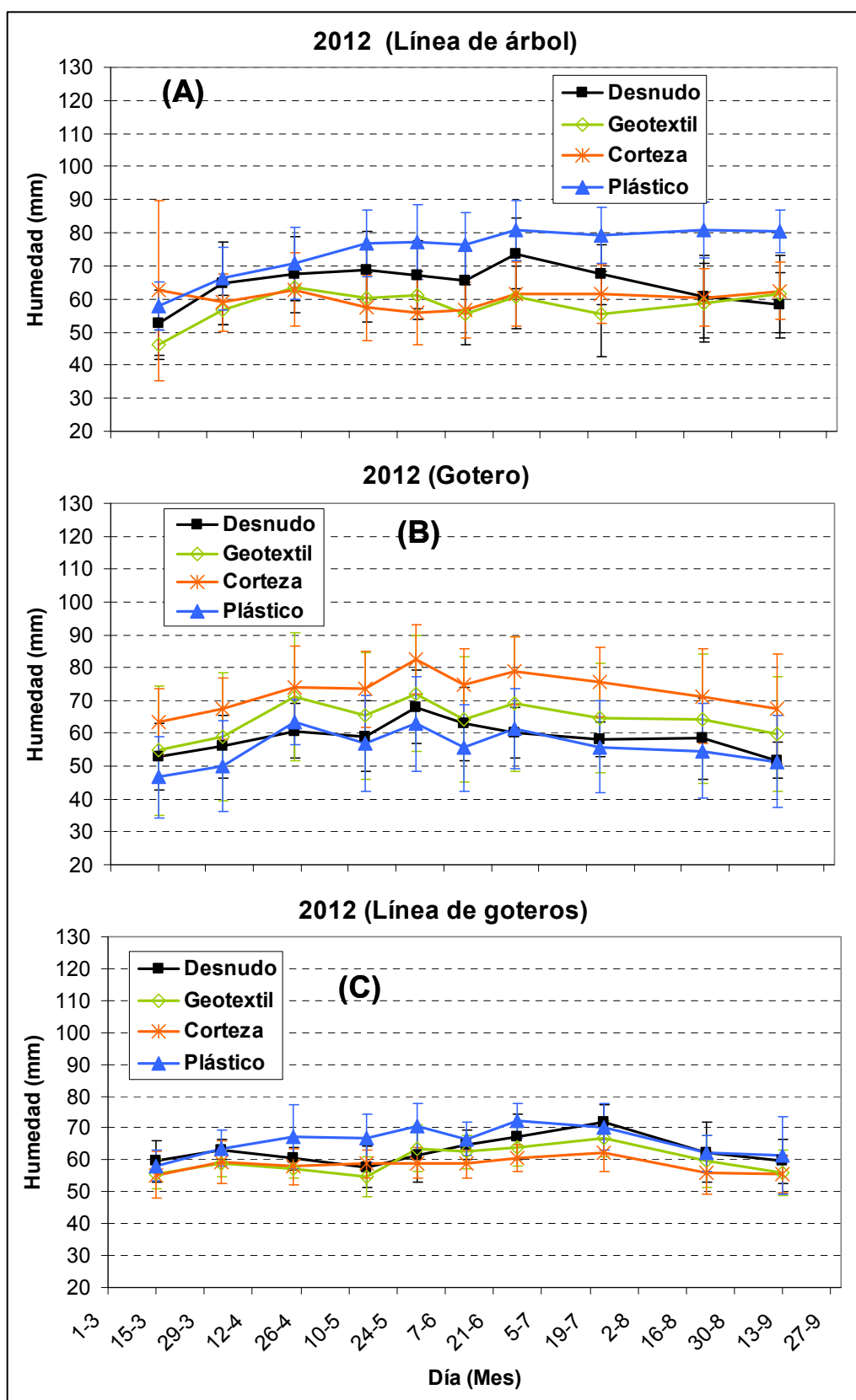


Figura IV.44. Evolución de de las alturas de agua acumuladas en el perfil de suelo de 0 a 30 cm de profundidad (Humedad, mm) determinadas a partir de las medidas de la humedad volumétrica con la sonda Diviner 2000 en la línea de árboles (A), en el gotero (B) y en la línea de goteros (C) en los tratamientos de acolchado del suelo durante la estación de riego de 2012. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar.

La variación de los valores de las alturas de agua almacenadas en el suelo refleja el régimen impuesto por el riego por goteo de alta frecuencia ya que las alturas de agua fueron altas sobre todo en la posición gotero y mantuvieron valores de 90 a 110 mm en los años 2010 y 2011 y de 60 a 80 mm en 2012.

Los menores valores de las alturas de agua acumuladas en el el perfil en el año 2012 fueron debidas probablemente al uso de una sonda Diviner 2000 distinta a la utilizada en 2010 y 2011. Las Figuras IV.42 a IV.44 muestran que la mayor diferencia de la altura de agua del suelo entre los tratamientos de acolchado se nota más en la posición línea de árboles mientras que la variabilidad fue pequeña en la posición línea de goteros y gotero. Este resultado fue el esperado ya que la aplicación del riego fue diaria estableciéndose un régimen de humedad estacionario en las posiciones gotero y línea de goteros.

Las diferencias entre tratamientos son mayores en la posición línea de árboles, posición a la que llega menos agua de riego al estar lejos del gotero. Los valores de la humedad en la posición línea de goteros fueron parecidos a los medidos junto al gotero debido al surco aplicado para que el agua de riego se distribuyera de una manera uniforme y para disminuir la escorrentía superficial del agua.

En la posición línea de árboles, la humedad fue más baja en el geotextil y similar para el resto de los tratamientos en el año 2010 y fue más alta en el acolchado plástico en 2011 y 2012 que en el resto de tratamientos de acolchado.

- **Perfiles de humedad del suelo con las medidas de la sonda Diviner 2000**

La Figura IV.45 presenta los perfiles de la humedad volumétrica media del suelo de las posiciones gotero y línea de árboles para 2010 y gotero, línea de goteros y línea de árboles para 2011 y 2012 medida con la sonda Diviner al inicio y mitad de cada estación de riego.

En 2010, hubo altas diferencias en el perfil de humedad del suelo entre los tratamientos de acolchado tanto en el mes de abril como en el mes de julio. El tratamiento de suelo desnudo fue el que mostró los mayores valores de la humedad volumétrica.

En 2011, la humedad volumétrica fue homogénea en todo el perfil del suelo en la medida del mes de abril. En el mes de julio de 2011 hubo diferencias mayores en los perfiles de humedad del suelo mostrando mayor humedad en el tratamiento de acolchado plástico.

Al igual que en los resultados de la evolución de la humedad en el año 2012, la humedad del suelo en el perfil del suelo en ese año tanto en el mes de abril como en el mes de julio fue mucho más baja que en los años 2010 y 2011 debido al uso de otra sonda Diviner 2000. Los perfiles de humedad del suelo fueron homogéneos en los distintos tratamientos de acolchado siendo ligeramente más alta en la medida del mes de julio que en la de abril.

En general las diferencias en el perfil de humedad del suelo entre los tratamientos de acolchado fueron más altas en la mitad que al inicio de la estación de riego salvo en el 2012 en el que la humedad fue más homogénea. En la mayoría de los perfiles de humedad estudiados, la humedad volumétrica de 0 a 20 cm de profundidad en el mes de julio en los tres años estudiados fue menor que a mayor profundidad debido a la alta demanda evaporativa y a la mayor extracción radical. En el mes de julio, periodo de alta demanda evaporativa, el geotextil presentó los menores valores de humedad volumétrica en el perfil del suelo.

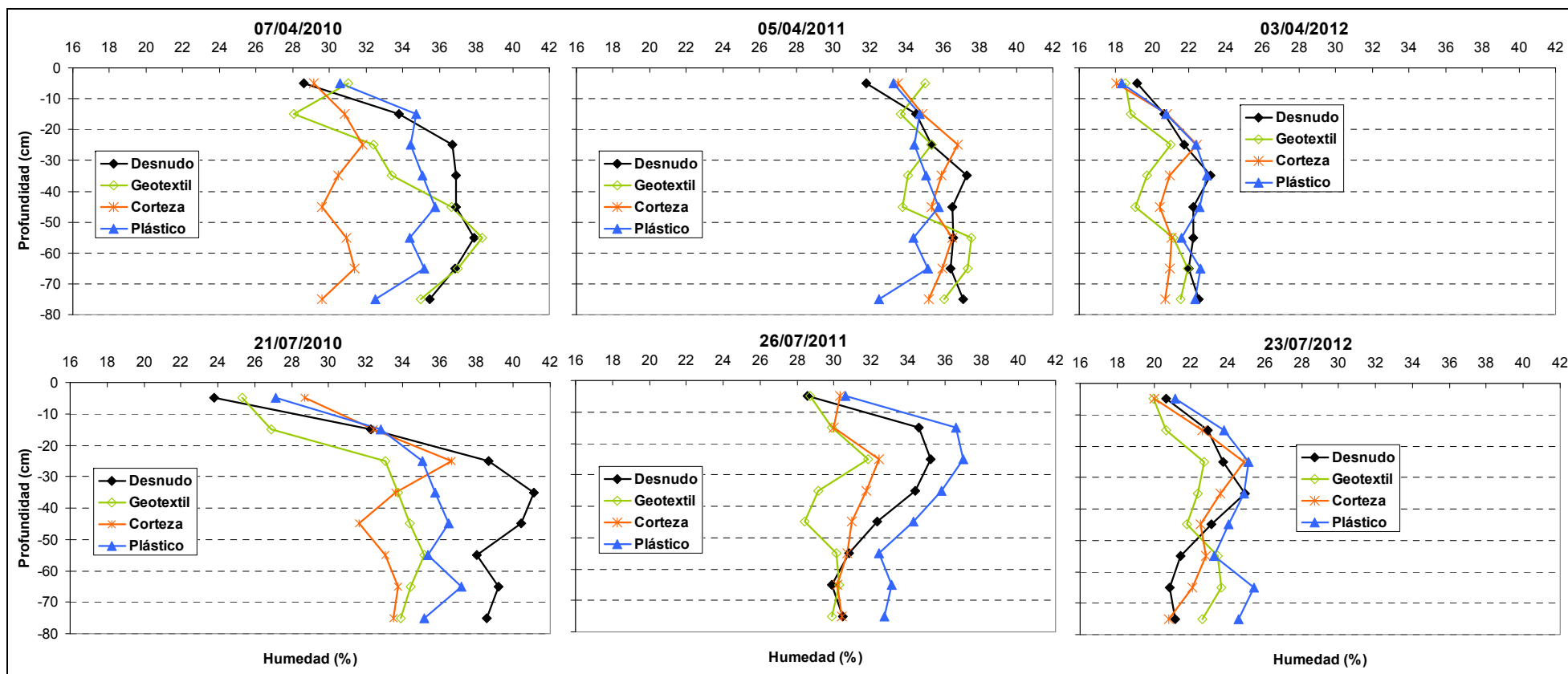


Figura IV.45. Perfiles de humedad volumétrica media del suelo de las posiciones gotero y línea de árboles para 2010 y gotero, línea de goteros y línea de árboles para 2011 y 2012 medida con la sonda Diviner 2000 al inicio y mitad de cada estación de riego.

- **Evolución de la humedad del suelo medida con las sondas Envirosca**

Las Figuras IV.46 a IV.49 presentan la evolución diaria de la humedad volumétrica del suelo a 10, 30 y 50 cm de profundidad medida con las sondas Envirosca en la posición gotero y línea de árboles para los distintos tratamientos de acolchado durante el periodo experimental del ensayo de nectarina.

Se observa que las lecturas de las sondas Envirosca responden rápidamente a los eventos de lluvia o riego con un aumento de las medidas de la humedad. En todos los tratamientos de acolchado se observa una mayor humedad en la estación de riego que en los meses invernales. Durante la estación de riegos se observa una mayor oscilación de los valores de la humedad a las 3 profundidades. La humedad volumétrica durante los tres años de estudio estuvo comprendida entre 10 y 55 % en el caso del tratamiento control de suelo desnudo y entre 20 y 55% para el resto de los tratamientos. En la posición línea de árboles la humedad del suelo a 50 cm de profundidad se mantuvo más alta que a 30 y 10 cm de profundidad en los tratamientos geotextil y control de suelo desnudo. En los tratamientos de plástico y corteza de pino hubo menos diferencias en la humedad volumétrica del suelo a las tres profundidades estudiadas y en ambas posiciones (gotero y línea de árboles) debido al efecto de estos dos acolchados en la reducción de la evaporación del suelo y la homogenización de la humedad en el perfil del suelo.

En la posición línea de árboles se nota una mayor fluctuación de la humedad a las tres profundidades de medida en el tratamiento de suelo desnudo que en el resto de los tratamientos que parecen más estables, debido a que el acolchado constituye una barrera protectora de la superficie del suelo (Turney y Menge, 1994).

En los meses del invierno y en todos los tratamientos de acolchado se observa un descenso de la humedad volumétrica del suelo a las tres profundidades de medida. Los valores de esta humedad en invierno se mantienen más estables que durante la estación del riego. Asimismo se observa que en los meses invernales la humedad a 10 cm permanece más baja que a 30 y 50 cm de profundidad.

En la estación de riego del 2010, el contenido de agua en el suelo aumentó progresivamente desde el inicio del ensayo hasta la mitad de julio y después empezó a disminuir (después de la cosecha de la nectarina) para volver a aumentar en el mes de septiembre. Esta tendencia se observó más claramente en la posición línea de árbol en los tratamientos de geotextil y plástico. Este incremento de la humedad del suelo en julio de 2010 fue debido al aumento del volumen de riego que se realizó con el objetivo de aumentar el calibre de los frutos de la nectarina antes de su cosecha. A partir de finales de agosto el contenido volumétrico de agua en el suelo volvió a aumentar debido al aumento en la aplicación del riego con el objetivo de lograr la extracción de la solución del suelo del suelo con las sondas de succión. Las lluvias mayores de 10 mm en 2010 que se produjeron durante el ensayo de la nectarina fueron 13.6 mm el 3 de mayo, 12.6 mm el 9 de junio, 14.2 mm el 1 de agosto y 15.8 mm el 23 de septiembre. El efecto de estas lluvias es visible en la evolución de la humedad del suelo en la posición línea de árboles de los tratamientos de suelo desnudo y acolchados de geotextil y corteza de pino sin embargo no se observan aumentos de humedad en el tratamiento de suelo con acolchado plástico.

En la estación de riego del 2011, la humedad fue alta durante los meses de primavera debido a las precipitaciones. En junio se observa un aumento de la humedad debido al aumento del riego para aumentar el calibre de los frutos antes de la cosecha. Después de la cosecha la humedad disminuyó por la reducción del riego aplicado. Los eventos de lluvia mayores a 10 mm en 2011 fueron 22 mm el 12 de marzo, 26.8 mm el 15 de marzo, 26.6 mm el 22 de abril, 42.6 mm el 25 de abril, 17.4 mm el 7 de mayo y 45 mm el 30 de mayo. Estas precipitaciones no afectaron a la evolución de la humedad del suelo en el tratamiento de acolchado plástico.

Al igual que en 2011, el contenido hídrico del suelo en la primavera de 2012 fue alto por la lluvia y se mantuvo alto en los meses junio y julio por el aumento del volumen de riego aplicado. Los eventos de lluvia mayores a 10 mm fueron 13.2 mm el 21 de marzo, 12.8 mm el 3 de abril, 10.2 mm el 28 de abril, 11.4 mm el 3 de junio 17.3 el 19 de junio, 10.3 mm el 5 de agosto y 17.2 mm el 29 de septiembre. Las precipitaciones produjeron grandes oscilaciones de la humedad del suelo en las posiciones gotero y línea de árbol en el tratamiento de suelo desnudo. Estas oscilaciones fueron mayores a 10 cm de profundidad llegando a valores muy bajos por debajo del 20%.

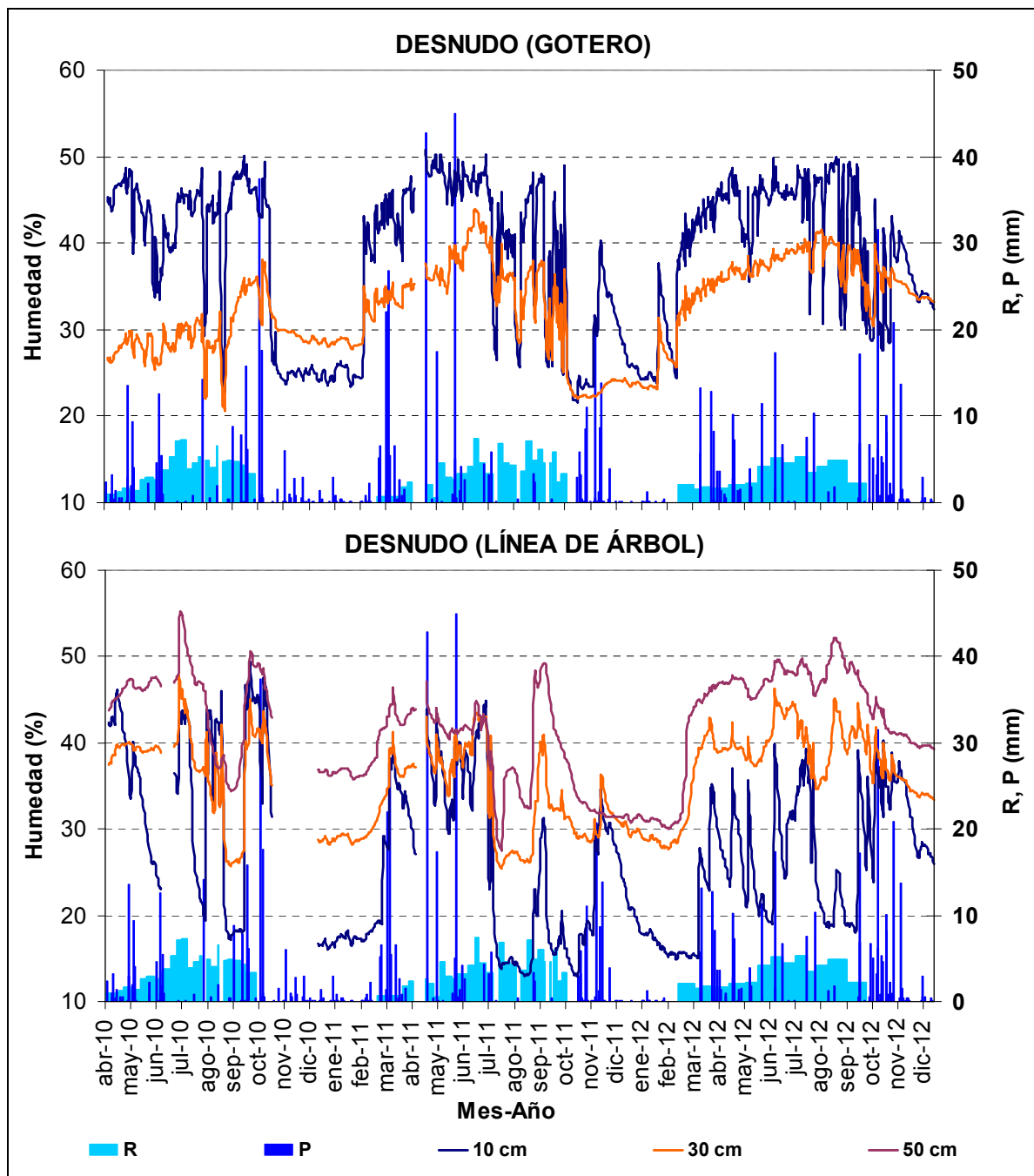


Figura IV.46. Evolución de las lecturas diarias de la humedad volumétrica del suelo a 10, 30 y 50 cm de profundidad medida con sondas Envirosca en la posición línea de árboles y en el gotero en el tratamiento control de suelo desnudo durante los años 2010, 2011 y 2012. Las barras verticales indican las cantidades aplicadas en el riego (R) y la precipitación (P).

La humedad del suelo desnudo durante los tres años de estudio tuvo en general una mayor oscilación que la humedad del suelo bajo las cubiertas de acolchado debido a la mayor evaporación. El acolchado tiene un efecto regulador de la humedad del suelo disminuyendo su evaporación sobre todo en las zonas de altas temperaturas estivales como el caso de la zona de estudio.

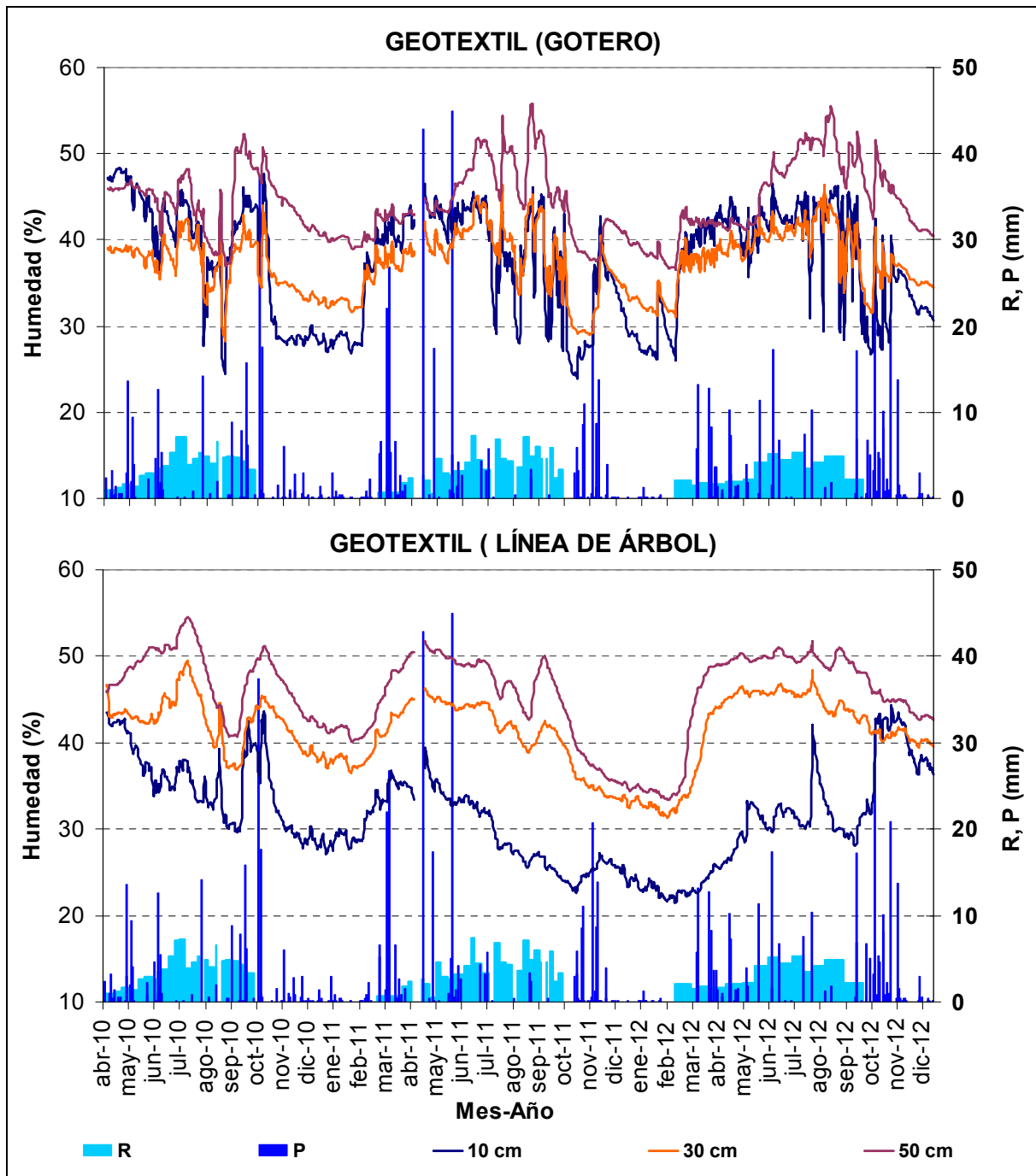


Figura IV.47. Evolución de las lecturas diarias de la humedad volumétrica del suelo a 10, 30 y 50 cm de profundidad medida con sondas Enviroscan en la posición línea de árboles y en el gotero en el tratamiento geotextil durante los años 2010, 2011 y 2012. Las barras verticales indican las cantidades aplicadas en el riego (R) y la precipitación (P).

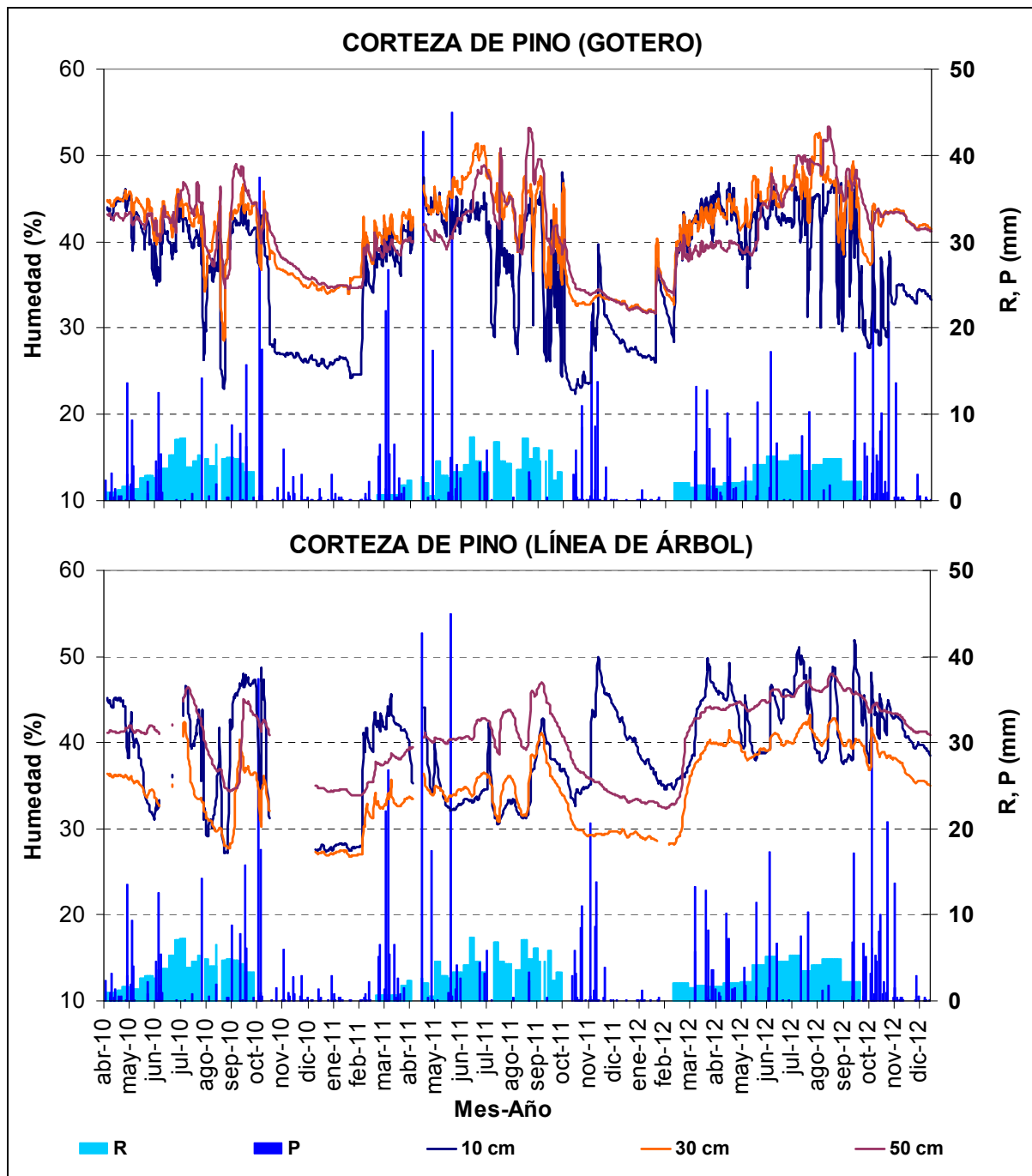


Figura IV.48. Evolución de las lecturas diarias de la humedad volumétrica del suelo a 10, 30 y 50 cm de profundidad medida con sondas Enviroscan en la posición línea de árboles y en el gotero en el tratamiento corteza de pino durante los años 2010, 2011 y 2012. Las barras verticales indican las cantidades aplicadas en el riego (R) y la precipitación (P).

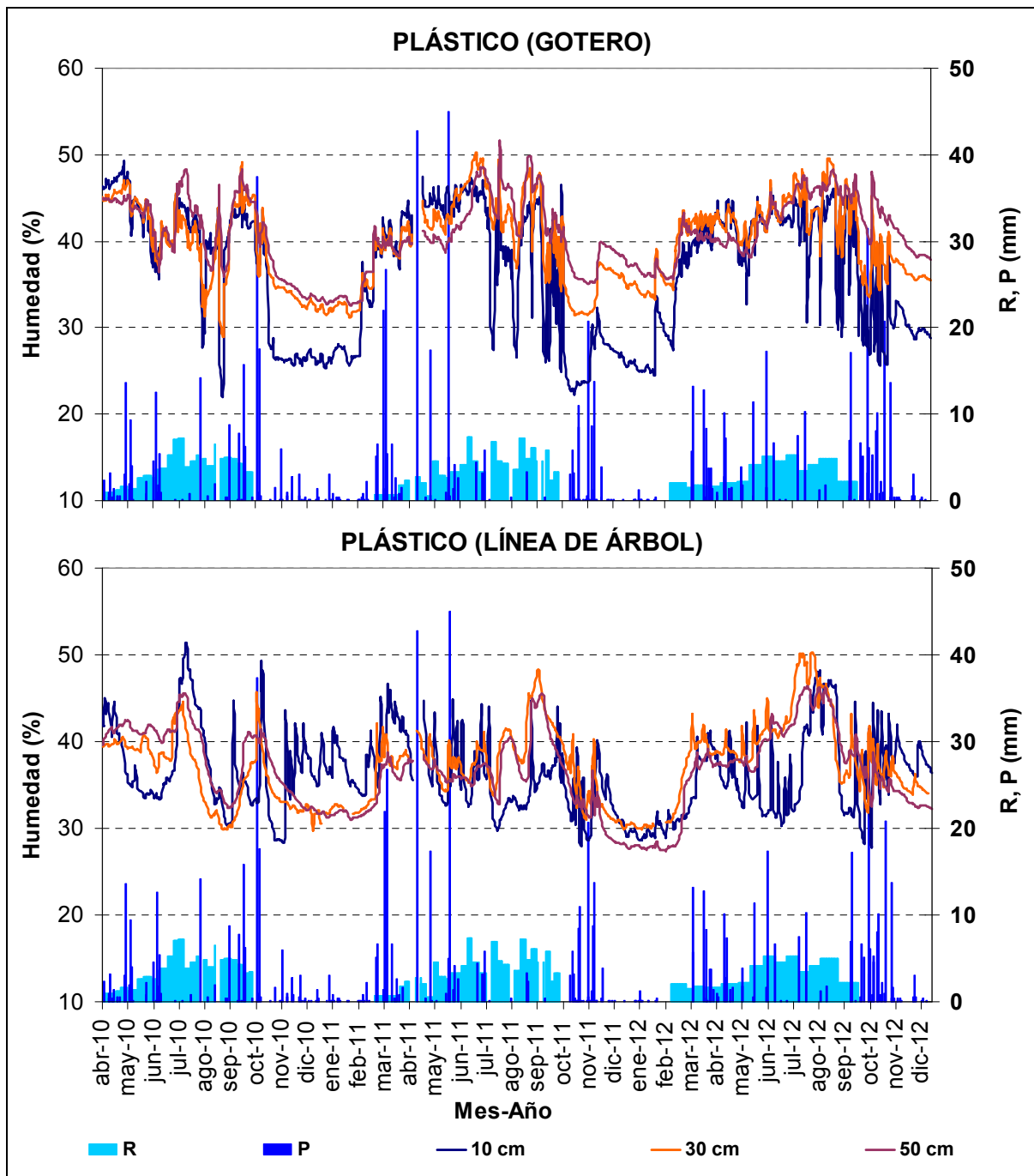


Figura IV.49. Evolución de las lecturas diarias de la humedad volumétrica del suelo a 10, 30 y 50 cm de profundidad medida con sondas Enviroscan en la posición línea de árboles y en el gotero en el tratamiento plástico durante los años 2010, 2011 y 2012. Las barras verticales indican las cantidades aplicadas en el riego (R) y la precipitación (P).

Con objeto de cuantificar el efecto de los distintos tratamientos de acolchado en la humedad volumétrica del suelo, se determinaron los valores medios mensuales de esta variable de 0 a 30 cm de profundidad junto al gotero y en la línea de árboles durante las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012. No se pudieron hacer las determinaciones para el mes de junio de 2010 por falta de datos, ya que los archivos de datos rebasaron la capacidad de almacenamiento de datos del datalogger en los tratamientos de suelo desnudo y corteza de pino.

Los valores medios mensuales de la humedad del suelo fueron más altos en la posición gotero que en la línea de árbol debido al riego diario aplicado (Tabla IV.25 y 26).

Tabla IV.25. Comparación de los valores medios mensuales de la humedad volumétrica del suelo (0 a 30 cm de profundidad) medidos con la sonda Enviroscan en la línea de árboles entre los tratamientos de acolchado durante las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012.

Línea de árbol				
2010				
	Desnudo	Geotextil	Corteza	Plástico
Abril	40.4a	41.0b	43.1c	40.3a
Mayo	36.1a	40.6c	36.3a	37.4b
Julio	37.1a	42.0b	38.2a	43.0b
Agosto	34.4b	37.7c	30.7a	33.4b
Septiembre	32.5a	37.5b	39.4c	32.8a
2011				
Marzo	35.0a	39.4b	38.6a	39.3b
Abril	37.3a	41.6ab	38.2c	39.1b
Mayo	37.5b	40.7c	35.8a	36.1a
Junio	40,7c	39,6c	35,2a	36,4b
Julio	31,6a	37,6b	35,2b	35,6b
Agosto	23,0a	34,9b	34,4b	36,3c
Septiembre	29,8a	34,3b	40,2c	40,9c
2012				
Marzo	29,1a	30,2a	38,8c	36,0b
Abril	36,1a	36,4a	44,6c	38,7b
Mayo	35,3a	39,2c	42,6d	36,9b
Junio	35,7a	39,8c	42,2d	37,3b
Julio	40,4a	39,6 ^a	45,4b	39,6a
Agosto	32,3a	40,6b	43,6c	46,6d
Septiembre	34,3a	37,5b	43,8c	37,7b

Durante la estación de riego del 2010, en todos los tratamientos y en las dos posiciones de línea de árbol y gotero los valores medios mensuales de humedad descendieron progresivamente de abril a agosto, para volver a ascender en septiembre. En el mes de agosto hubo un descenso acusado de humedad debido a los dos cortes de riego durante este mes. En la posición línea de árboles y desde abril a septiembre la humedad de 0 a 30 cm en el tratamiento de suelo desnudo fue en general inferior al resto de tratamientos de acolchado. Los tratamientos de corteza y plástico también tuvieron humedad baja similar a la del suelo desnudo en algunos meses. En la posición gotero la humedad en suelo desnudo en abril, mayo y julio también fue inferior significativamente ($P < 0.05$) al resto de acolchados.

En la estación de riego de 2011, la humedad se mantuvo alta junto al gotero de marzo a septiembre (valores de humedad volumétrica superiores a 39%). En la posición línea de árboles la humedad el suelo desnudo tuvo una humedad en general también inferior a la del resto de tratamientos con diferencias significativas en los meses de julio, agosto y septiembre. En los meses de julio y agosto la humedad disminuyó en la posición línea de

árboles debido al corte de riego efectuado y a la alta demanda evaporativa que posiblemente produjo una extracción de humedad en esta posición.

En la estación de riego de 2012, la humedad fue también alta junto al gotero de marzo a septiembre (valores de humedad volumétrica superiores a 41%). En la posición línea de árboles la humedad del suelo desnudo tuvo un valor inferior a la del resto de tratamientos con diferencias significativas en los meses de mayo, junio, agosto y septiembre.

Las mayores diferencias entre los tratamientos de acolchado se notan más en la posición línea de árboles que tuvo una menor humedad que la zona situada junto al gotero. Los resultados muestran que la humedad en la posición línea de árboles fue en general más baja en el tratamiento de suelo desnudo que en el resto de los tratamientos.

Tabla IV.26. Comparación de los valores medios mensuales de la humedad volumétrica (%) del suelo (0 a 30 cm de profundidad) medidos con la sonda Enviroscan junto al gotero entre los tratamientos de acolchado durante las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012. Valores seguidos de distinta letra son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Gotero				
2010				
	Desnudo	Geotextil	Corteza	Plástico
Abril	39.4a	44.5b	44.5b	46.0c
Mayo	38.8a	42.9b	43.2b	43.4c
Julio	39.6a	41.9b	41.9b	41.0b
Agosto	35.6a	35.7a	35.6a	35.2a
Septiembre	42.6a	42.6a	42.8a	43.2a
2011				
Marzo	40.0a	40.5a	40.2a	39.9a
Abril	43.0a	42.4a	43.0a	42.6a
Mayo	44.2b	42.1a	44.2b	43.7b
Junio	46.1b	44.6a	45.9b	46.8b
Julio	42.0a	42.2a	42.7a	42.9a
Agosto	39.5a	40.1a	40.2a	40.3a
Septiembre	39.4a	40.9a	39.7a	40.0a
2012				
Marzo	43.8b	41.7a	43.5ab	42.8ab
Abril	42.9b	42.2a	44.1c	42.9b
Mayo	42.5bc	41.6ab	42.5c	41.1a
Junio	44.3b	43.2a	44.1b	43.3a
Julio	45.1c	43.4a	44.7bc	44.3b
Agosto	45.1b	43.7ab	45.2b	43.4a
Septiembre	43.8b	41.7a	43.5ab	42.8ab

La Tabla IV.27 muestra los valores medios mensuales del contenido volumétrico de agua del suelo a 10 cm de profundidad durante las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012 medidos con la sonda Enviroscan en la posición gotero.

En el año 2010 los resultados muestran que en todos los meses de la estación de riegos la humedad volumétrica a 10 cm de profundidad se mantuvo alta, por encima del 37.1% y

llegando en algunos casos hasta el 45%. En agosto la humedad varió desde un 33.5% en la corteza hasta 36.5% en el suelo desnudo. En general se observan diferencias significativas entre los distintos tratamientos de acolchado del suelo con resultados variables en los distintos meses. En general en todos los tratamientos de acolchado, la humedad en la superficie del suelo fue disminuyendo hasta el mes de junio, aumentó ligeramente en julio por el aumento del volumen de agua de riego aplicado y volvió a disminuir en agosto debido a los cortes de riego ya mencionados anteriormente. En septiembre la humedad volvió a aumentar en todos los tratamientos.

Tabla IV.27. Comparación de los valores medios mensuales de la humedad volumétrica del suelo (0 a 10 cm de profundidad) medidos con la sonda Envirosca junto al gotero entre los tratamientos de acolchado durante las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012. Valores seguidos de distinta letra son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Gotero				
2010				
	Desnudo	Geotextil	Corteza	Plástico
Abril	44.2a	45.0c	44.3b	45.3c
Mayo	38.2a	41.5 c	40.1b	40.5bc
Julio	38.3a	38.6a	41.2b	43.5c
Agosto	36.5b	34.0 ab	33.5a	35.4ab
Septiembre	38.7a	38.6a	42.2b	40.0a
2011				
Marzo	37.6a	37.6a	40.1b	40.6b
Abril	40.5ab	39.5a	41.4bc	42.0c
Mayo	41.4c	38.6a	40.4b	41.6c
Junio	42.6c	38.4a	39.8b	42.7c
Julio	33.8a	34.6ab	37.3bc	38.1c
Agosto	26.6a	31.9b	35.7c	36.0c
Septiembre	30.5a	32.4b	37.4c	38.3c
2012				
Marzo	30.2a	31.4b	40.7d	36.7c
Abril	36.9b	34.0a	45.4d	40.1c
Mayo	35.3a	35.5a	41.8c	37.5b
Junio	35.7a	37.0b	42.3c	38.2b
Julio	39.4c	37.0a	45.0d	38.4b
Agosto	34.2a	38.2b	41.9c	43.4d
Septiembre	32.8a	35.0b	41.7d	38.7c

En la estación de riego de 2011, la humedad fue más alta en los meses marzo, abril, mayo y junio debido a las lluvias y riegos en estos meses (Figura IV.30). Al igual que en el año 2010 la humedad disminuyó en el mes de julio y agosto debido al corte de riego efectuado y a la alta demanda evaporativa.

En la estación de riegos de 2012 también se observó efecto significativo de los tratamientos de acolchado con resultados variables en los distintos meses. Así por ejemplo en los meses de marzo, abril, julio, agosto y septiembre el valor medio mensual de la humedad volumétrica a 10 cm de profundidad del tratamiento plástico fue significativamente mayor que la del suelo desnudo. En 2012, se observaron en general menores valores de la

humedad volumétrica a 10 cm de profundidad en el suelo desnudo que en el resto de tratamientos de acolchado. El tratamiento de corteza tuvo una humedad superior significativamente que el suelo desnudo en todos los meses de la estación de riego. El tratamiento de plástico tuvo un comportamiento similar mostrando una humedad superior al suelo desnudo en todos los meses excepto en el mes de julio.

En los tres años del ensayo, la humedad volumétrica fue en general menor en los tratamientos geotextil y control de suelo desnudo que en los de plástico y corteza. Este resultado fue confirmado por los resultados de los ensayos de evaporación del capítulo III. Los acolchados de plástico y corteza de pino redujeron en general la evaporación del suelo en la profundidad de 0-10 cm y mantuvieron una mayor humedad en comparación con el suelo desnudo y el geotextil debido a que estos acolchados mejoraron la conservación de agua en el suelo mediante la reducción de la evaporación (Fausett y Rom, 2001). Estos resultados fueron similares a los de Zhang et al. (2008) los cuales mostraron que el acolchado aumenta la humedad del suelo en la capa superficial (0 - 5 cm) en comparación con el suelo desnudo.

IV.3.3.4.3. Efecto de un estrés hídrico moderado sobre la humedad del suelo

- **Año 2010**

Primer corte de riego

La Figura IV.50 muestra en detalle la evolución de los valores diarios de la humedad volumétrica a distintas profundidades en la posición línea de árbol (zona con una extracción escasa de agua por la nectarina) y en la posición gotero de los tratamientos de suelo desnudo, geotextil, corteza de pino y plástico, respectivamente, durante el primer corte del riego (del 31/7/2010 al 2/8/2010) en el que se produjo una precipitación de 14.2 mm el 1/8/2010.

Al eliminar el riego el 31 de julio, se observa un descenso de la humedad del suelo junto al gotero hasta el 1 de agosto mientras que en la posición línea de árbol no se observa este descenso, salvo en el caso de la corteza de pino. Este resultado se explica por una extracción de agua por la nectarina elevada junto al gotero e irrelevante en la línea de árboles.

En la línea de árboles del suelo desnudo se observa claramente un aumento de la humedad del suelo a 10 cm de profundidad producido por la lluvia de 14 mm. Este incremento no se observa en la misma medida en la corteza de pino y el geotextil probablemente por una mayor evaporación anterior a la lluvia. En el caso del acolchado plástico, la precipitación no afectó a la humedad del suelo ya que el plástico impide la entrada de agua en el perfil del suelo (Figura IV.50).

Por otro lado, junto al gotero y a 10 cm de profundidad, hubo un aumento de la humedad del suelo debido a la lluvia de 0.2, 1.0, 2.7 y 3.3 mm, respectivamente, para el tratamiento desnudo, plástico, corteza de pino y geotextil. Estos incrementos fueron bajos en comparación con la lluvia, probablemente debido a una intensa extracción de agua después de la eliminación del riego.

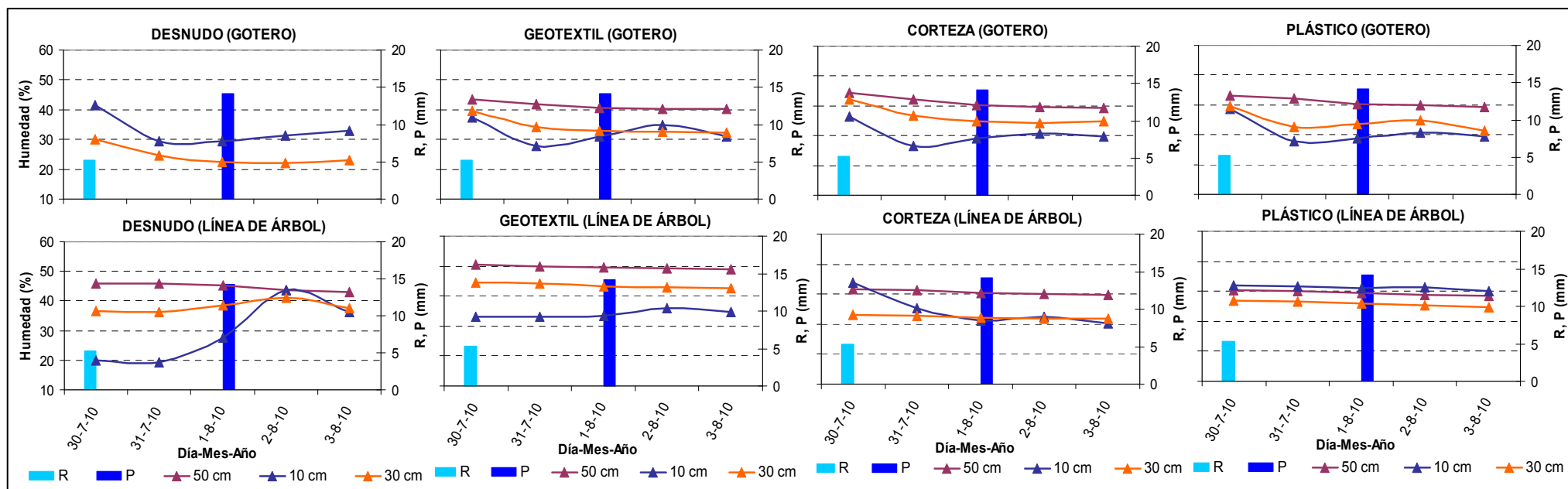


Figura IV.50. Evolución de las lecturas medias diarias de la humedad volumétrica del suelo medida con la sonda Enviroscan en la línea de árbol y junto al gotero de los distintos tratamientos de acolchado durante el corte de riego del 31/7/2010 al 2/8/2010.

Segundo corte de riego

Durante el segundo corte de riego, de mayor duración (8 días) y sin lluvia, se estudió el efecto de los distintos tratamientos de acolchado en la evolución de la humedad volumétrica del suelo. La Tabla IV.28 presenta los valores de altura inicial y final de agua en el perfil de suelo de 0 a 30 cm de profundidad y la diferencia entre las dos medidas junto al gotero y en la línea de los árboles para los distintos tratamientos de acolchado de suelo de la nectarina.

Los resultados muestran que el descenso en la cantidad de agua fue mucho más alto en el gotero que en la línea de árboles, salvo en el suelo desnudo. Asumiendo que la percolación de agua por debajo de la profundidad de 30 cm fue mínima, y/o que dicha percolación fue similar en el gotero y en la línea de árboles, este resultado significaría que la extracción de agua fue muy elevada en el gotero y prácticamente despreciable en la línea de árboles. Así, el descenso de la altura de agua acumulada en el suelo en la línea de árboles en los 7 días fue 49.7, 15.3, 16.1 y 3.6 mm respectivamente para el suelo desnudo, geotextil, corteza de pino y plástico. En contraste, las pérdidas de agua junto al gotero fueron similares en los distintos tratamientos de acolchado (entre 40.4 mm en el geotextil y 48.5 mm en el plástico) y mucho más elevadas que en la línea de árboles debido a la elevada extracción radicular de agua en los bulbos humedecidos por los goteros. Así, la pérdida de agua media en el gotero para los cuatro tratamientos fue de 45 mm.

La pérdida de agua en el caso del control de suelo desnudo se atribuye en gran parte a evaporación, mientras que la pérdida de agua en el suelo bajo los distintos tratamientos de acolchado es atribuible en su mayor parte a la extracción radicular, lo que significa que la misma es menor en la línea de árboles. Estos resultados muestran claramente el papel importante del acolchado de suelo en la reducción de la evaporación y la conservación de la humedad del suelo.

Tabla IV.28. Altura (mm) inicial (19/08/2010) y final (26/08/2010) de la cantidad de agua en el perfil de suelo de 0 a 30 cm medida con las sondas Enviroscan en el gotero y en la línea de árboles, y diferencia entre la altura final e inicial para los distintos tratamientos de acolchado de suelo de la nectarina en el periodo de corte de riego (19/08/2010 a 26/08/2010).

Altura de agua (mm)	Tratamiento de acolchado del suelo							
	Desnudo		Geotextil		Corteza pino		Plástico	
	Línea árbol	Gotero	Línea árbol	Gotero	Línea árbol	Gotero	Línea árbol	Gotero
Inicial	121.2	127.5	122.2	126.6	100.7	128.2	97.7	131.4
Final	71.5	83.1	106.9	86.1	84.6	81.8	94.1	82.5
Diferencia	49.7	44.5	15.3	40.4	16.1	46.5	3.6	48.5

• Año 2011

Durante la estación de riego del 2011, el corte de riego fue de 7 días de duración. Como se ha visto en el año 2010, el descenso de la humedad fue más alto en la posición gotero que en la línea de árbol por la mayor extracción radical. El descenso de la altura de agua acumulada en el suelo en la línea de árboles en los 6 días fue 41.1, 5.9, 16.5 y 9.8 mm respectivamente para el suelo desnudo, geotextil, corteza de pino y plástico. En contraste, las pérdidas de agua junto al gotero fueron más similares entre los tratamientos de acolchado (entre 23.2 mm en la corteza y 37.6 mm en el suelo desnudo). El promedio del descenso de la altura de agua acumulada en el perfil del suelo 0 a 30 cm de profundidad en el gotero fue de 28.5 mm frente a 18.3 mm en la línea de árboles (Tabla IV.29). Se observa

que la mayor diferencia entre tratamientos se produjo en la posición línea de árboles en la que las pérdidas de humedad se deben principalmente a la evaporación más que a la extracción de agua por las raíces.

Tabla IV.29. Altura (mm) inicial (14/07/2011) y final (20/07/2011) de la cantidad de agua en el perfil de suelo de 0 a 30 cm medida con las sondas Enviroscan en el gotero y en la línea de árboles, y diferencia entre la altura final e inicial para los distintos tratamientos de acolchado de suelo de la nectarina en el periodo de corte de riego.

Altura de agua (mm)	Tratamiento de acolchado del suelo							
	Desnudo		Geotextil		Corteza pino		Plástico	
	Línea árbol	Gotero	Línea árbol	Gotero	Línea árbol	Gotero	Línea árbol	Gotero
Inicial	112.0	133.9	115.3	132.0	115.2	132.2	108.5	134.0
Final	71.0	96.3	109.5	107.7	98.7	109.0	98.8	105.1
Diferencia	41.1	37.6	5.9	24.3	16.5	23.2	9.8	28.9

Este análisis corrobora que la extracción de agua del suelo por la nectarina se produjo prácticamente en su totalidad en el gotero, siendo muy escasa la extracción de agua en la línea de árboles. Estos resultados indican que en las zonas áridas y semi áridas, la extracción radical de los árboles frutales regados por goteo se concentra más cerca del gotero (Levin et al., 1979; Ruiz-Sanchez et al., 2005).

Por otro lado, Kadayifci et al. (2004) mostraron que el acolchado de suelo con polietileno aumentó la transpiración de la lechuga un 26% en comparación con el control descubierto debido a la mayor disponibilidad de agua ya que el polietileno reduce la evaporación del suelo.

Li y Lan (1995) indicaron que el suelo bajo plástico promueve el crecimiento de las plantas asociado con una alta transpiración y mayores pérdidas del agua de suelo. Asimismo, cabe concluir que la altura media de agua perdida por evapotranspiración fue mayor en el suelo desnudo que en los acolchados de suelo, resultado que confirma los obtenidos por Chaudhry et al. (2004), Cook et al. (2006), Ramakrishna et al. (2006) y Yang et al. (2006).

IV.3.3.5. Salinidad

La salinidad del suelo en la plantación de nectarina de la finca AFRUCCAS (Caspe, Zaragoza) se ha caracterizado mediante dos procedimientos diferentes (ver capítulo de Material y Métodos).

El primer procedimiento ha consistido en el muestreo del suelo (0-45 cm de profundidad) y medida de la CEe (conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo) al principio y final de las estaciones de riego de los años 2010, 2011 y 2012 en tres posiciones (G-junto a un gotero, LG- en la línea de goteros, a una distancia de 50 cm equidistante entre dos goteros, y LA- en la línea de árboles, a 50 cm de las líneas de goteros) junto a cuatro árboles (repeticiones) de cada tratamiento de acolchado.

El segundo procedimiento ha consistido en la extracción periódica de la solución del suelo mediante sondas de succión instaladas a 20 y 40 cm de profundidad y medida de la CEss (conductividad eléctrica de la solución del suelo) en las mismas posiciones que las del muestreo del suelo junto a cuatro árboles (repeticiones) de cada tratamiento de acolchado.

IV.3.3.5.1. Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CEe)

La Tabla IV.30 presenta la CEe media, la desviación estándar (DE) y el coeficiente de variación (CV) de todas las muestras de suelo recogidas al inicio y final de las estaciones de riego (marzo y septiembre de 2010, abril y septiembre de 2011 y febrero y septiembre de 2012). El total de muestras en cada fecha de muestreo fue de 48, correspondientes a 3 posiciones/árbol x 4 tratamientos de acolchado x 4 árboles/tratamiento. Los valores de CEe representan por lo tanto la evolución media de la salinidad del suelo entre el inicio y final de cada estación de riego integrando las tres posiciones de muestreo y todos los tratamientos de acolchado. Los elevados CV son en gran medida el resultado de esta integración.

En el análisis de estos resultados hay que tener en cuenta que los muestreos iniciales del suelo de los años 2010 y 2011 se efectuaron después de unas ligeras aplicaciones de riego (13.3 mm en 2010 y 34.3 mm en 2011), mientras que en 2012 el muestreo se efectuó el día anterior al inicio del riego.

La CEe media de las 96 muestras recogidas en cada año experimental fue de 3.4 (año 2010), 3.1 (año 2011) y 3.7 dS m⁻¹ (año 2012). Según FAO, estos valores implicarían unos descensos de producción en nectarina (tomando la función de respuesta a la salinidad del melocotonero (CEe umbral = 1.7 dS m⁻¹ y pendiente = -21.0% por dS m⁻¹), ya que la nectarina no está cuantificada en FAO) del orden del 35% en 2010, 29% en 2011 y 40% en 2012.

Sin embargo, si se descuentan 2 dS m⁻¹ de los valores de CEe de la Tabla 1 debido a la presencia de yeso en algunas muestras de suelo, los valores medios resultantes (1.4 dS m⁻¹ en 2010, 1.1 dS m⁻¹ en 2011 y 1.7 dS m⁻¹ en 2012) estarían por debajo de la CEe umbral, sugiriendo que la nectarina no se vería afectada de forma apreciable por la salinidad edáfica media de esta plantación.

Tabla IV.30. Salinidad media del suelo (CEe), desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) del conjunto de muestras de suelo (N = 4 tratamientos de acolchado del suelo x 3 posiciones de muestreo x 4 repeticiones = 48) recogidas al inicio y final de las estaciones de riego de los años 2010 (marzo y septiembre), 2011 (abril y septiembre) y 2012 (febrero y septiembre de 2012).

CEe (dS m ⁻¹) (0-45 cm profundidad)				
Año		Marzo	Septiembre	Media
2010	N	48	48	Total = 96
	Media	2.9	3.8	3.4
	DE	1.4	2.0	1.8
	CV	48%	54%	54%
2011		Abril	Septiembre	Media
	N	48	48	Total = 96
	Media	2.7	3.6	3.1
	DE	2.1	2.2	2.2
CV	75%	61%	68%	
2012		Febrero	Septiembre	Media
	N	48	47	Total = 95
	Media	4.0	3.3	3.7
	DE	1.5	2.0	1.8
CV	36%	59%	48%	

Debe tenerse en cuenta que estos valores de CEe son medias de tres posiciones de muestreo que no representan necesariamente las posiciones de máxima extracción de agua de la nectarina.

Así, si se asume que la mayor parte de extracción de agua del suelo se produce en la zona próxima a los goteros, la CEe media en esta zona ("Gotero") fue de 2.0 dS m^{-1} en 2010 (Tabla IV.31a), 1.1 dS m^{-1} en 2011 (Tabla IV.31b) y 2.5 dS m^{-1} en 2012 (Tabla IV.31c). Esto implicaría que el descenso de rendimiento de la nectarina sería insignificante o bajo (suelo sin yeso: descensos del 6% en 2010, 0% en 2011 y 16% en 2012) o nulo (suelo con yeso). Asimismo, si se asume que la extracción de agua se produce principalmente en el gotero y en la línea de goteros, el valor medio de CEe en estas dos posiciones sería de 2.6 dS m^{-1} en 2010 (descenso del rendimiento del orden del 19% en suelos sin yeso), 2.0 dS m^{-1} en 2011 (descenso del 6%) y 3.0 dS m^{-1} en 2012 (descenso del 26%). Como en el caso anterior, los descensos de rendimiento serían nulos en suelos con yeso.

La Tabla IV.30 indica que la CEe media aumentó entre el muestreo inicial y final de la estación de riego un 31% en 2010 y un 33% en 2011, mientras que disminuyó un 18% en 2012. Es decir, el incremento medio de salinidad fue elevado y similar en las estaciones de riego 2010 y 2011, implicando un riesgo potencial de salinización del suelo si no se produce el lavado de sales fuera de la estación de riego debido a lluvias y/o riegos de lavado.

Por el contrario, la salinidad disminuyó en la estación de riego de 2012 debido básicamente a la elevada CEe inicial medida en febrero (4.0 dS m^{-1}). Este resultado, contrario al de los años 2010 y 2011, se atribuye al hecho indicado más arriba de que el muestreo de febrero fue anterior al inicio del riego y, principalmente, a que la precipitación registrada entre el 13 de septiembre de 2011 y el 23 de febrero de 2012 fue de tan solo 89 mm frente a unos valores de 170 mm en 2010 y 169 mm en 2011 (Tabla IV.32). Esto es, el riego y la precipitación anteriores a los muestreos iniciales de 2010 (182 mm) y 2011 (214 mm) (Tabla IV.32) lavaron parcialmente las sales resultando en una CEe inicial de en torno a 2.8 dS m^{-1} (Tabla IV.30). Sin embargo, el muestreo inicial de 2012 arrojó una CEe de 4.0 dS m^{-1} (esto es, un 43% superior al valor medio de los años 2010 y 2011) debido al menor lavado de sales producido por la ausencia de riego y bajas precipitaciones (89 mm) anteriores a este muestreo.

En conclusión, si se produce el lavado de sales por lluvias y/o riegos antes de la estación de riego y se parte por consiguiente de una salinidad del suelo relativamente baja (caso de los años 2010 y 2011), se promueve (a pesar del riego) una tendencia general a la salinización del suelo a lo largo de la estación de riego debido a la ET de la nectarina. Por el contrario, si no se produce el lavado de sales antes de la estación de riego y se parte por consiguiente de una salinidad del suelo relativamente elevada (caso del año 2012), el agua de riego de baja salinidad promueve el lavado de sales a lo largo de la estación de riego con el resultado final de que la salinidad al final de la estación de riego es menor que al principio de la misma a pesar del efecto evapoconcentración provocado por la ET de la nectarina en dicho período.

Las Tablas IV.31a, 31b y 31c muestran en detalle la variabilidad espacio-temporal de la CEe media de los cuatro árboles control (repeticiones) en los muestreos inicial y final de las estaciones de riego de los años 2010, 2011 y 2012 para cada tratamiento de acolchado (suelo desnudo y acolchados de geotextil, corteza de pino y plástico) y posición de muestreo (línea de árboles, gotero y línea de goteros).

Tabla IV.31a. Año 2010. Variabilidad espacio-temporal de la salinidad del suelo: número de muestras de suelo (N) y valores medios de CEe, desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) en cada tratamiento de acolchado del suelo en marzo y septiembre del año 2010 para las posiciones de muestreo Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros. Para cada posición de muestreo, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos.

CEe (dS m ⁻¹) (0-45 cm de profundidad de suelo)							
Fecha de muestreo		Marzo 2010			Septiembre 2010		
Posición de muestreo del suelo		Línea de árboles	Gotero	Línea de goteros	Línea de árboles	Gotero	Línea de goteros
Tratamiento de acolchado							
Desnudo	N	4	4	4	4	4	4
	Media	4.6	1.9	2.2 a	5.7ab	2.2	2.7
	DE	1.8	0.8	1.2	0.1	0.9	0.9
	CV	45 %	44%	43%	1%	40%	32%
Geotextil	N	4	4	4	4	4	4
	Media	4.8	1.8	2.5ab	7.2b	1.8	4.2
	DE	1.1	0.5	0.5	1.8	0.2	2.8
	CV	24%	31%	21%	25%	14%	67%
Corteza de pino	N	4	4	4	4	4	4
	Media	3.4	2.3	3.8b	5.5ab	2.2	3.2
	DE	0.7	1.4	1.3	1.1	0.7	0.7
	CV	21%	62%	35%	19%	34%	55%
Plástico	N	4	4	4	4	4	4
	Media	3.3	1.8	2.4ab	4.9a	2.0	3.8
	DE	1.3	0.4	1.1	1.6	0.3	1.1
	CV	38%	29%	45%	32%	15%	30%
Todos	N	16	16	16	16	16	16
	Media	4.0	1.9	2.7	5.8	2.1	3.5
	DE	1.3	0.8	1.1	1.5	0.6	1.7
	CV	34%	44%	40%	25%	28%	50%

Tabla IV.31b. Año 2011. Variabilidad espacio-temporal de la salinidad del suelo: número de muestras de suelo (N) y valores medios de CEe, desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) en cada tratamiento de acolchado del suelo en abril y septiembre del año 2011 para las posiciones de muestreo Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros. Para cada posición de muestreo, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos.

CEe (dS m ⁻¹) (0-45 cm de profundidad de suelo)							
Fecha de muestreo		Abril 2011			Septiembre 2011		
Posición de muestreo del suelo		Línea de árboles	Gotero	Línea de goteros	Línea de árboles	Gotero	Línea de goteros
Tratamiento de acolchado							
Desnudo	N	4	4	4	4	4	4
	Media	4.1a	1.1	1.8ab	6.4	1.8	2.8
	DE	0.8	0.2	1.1	3.4	0.1	0.9
	CV	19	14	60	53	8	31
Geotextil	N	4	4	4	4	4	4
	Media	5.4ab	1.1	2.6b	6.2	1.8	3.9
	DE	1.7	0.1	0.9	1.5	0.3	2.4
	CV	32	10	35	25	16	63
Corteza de pino	N	4	4	4	4	4	4
	Media	3.9a	1.1	2.2ab	3.8	1.9	2.6
	DE	1.6	0.1	0.6	0.8	0.1	1.1
	CV	40	9	28	22	7	44
Plástico	N	4	4	4	4	4	4
	Media	7.0b	1.2	1.3a	5.9	1.7	4.0
	DE	0.8	0.1	0.6	2.2	0.2	1.3
	CV	12	9	48	36	11	32
Todos	N	16	16	16	16	16	16
	Media	5.1	1.1	2.0	5.6	1.8	3.3
	DE	1.7	0.1	0.9	2.2	0.2	1.5
	CV	34	11	46	40	10	46

Tabla IV.31c. Año 2012. Variabilidad espacio-temporal de la salinidad del suelo: número de muestras de suelo (N) y valores medios de CEe, desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) en cada tratamiento de acolchado del suelo en febrero y septiembre del año 2012 para las posiciones de muestreo Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros. Para cada posición de muestreo, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos.

CEe (dS m ⁻¹) (0-45 cm de profundidad de suelo)							
Fecha de muestreo		Febrero 2012			Septiembre 2012		
Posición de muestreo del suelo		Línea de árboles	Gotero	Línea de goteros	Línea de árboles	Gotero	Línea de goteros
Tratamiento de acolchado							
Desnudo	N	4	4	4	3	4	4
	Media	4.3a	2.9ab	4.4b	5.5b	1.8	1.8
	DE	1.0	0.6	0.5	0.3	0.5	0.2
	CV	24	20	12	5	26	9
Geotextil	N	4	4	4	4	4	4
	Media	4.2a	4.2b	4.8b	7.6c	2.1	3.5
	DE	1.4	1.3	1.4	1.3	0.4	1.5
	CV	33	30	28	17	19	43
Corteza de pino	N	4	4	4	4	4	4
	Media	4.3a	3.3ab	4.6b	3.7a	1.7	2.5
	DE	0.7	1.8	1.1	0.6	0.2	0.8
	CV	17	52	24	16	12	31
Plástico	N	4	4	4	4	4	4
	Media	6.7b	2.4a	2.5a	5.3b	1.7	3.1
	DE	0.2	0.5	1.0	1.2	0.2	1.6
	CV	3	22	41	22	11	51
Todos	N	16	16	16	15	16	16
	Media	4.9	3.2	4.1	5.5	1.8	2.7
	DE	1.4	1.2	1.3	1.7	0.3	1.2
	CV	28	39	33	31	18	45

Tabla IV.32. Precipitación y riego acumulados entre las fechas de muestreo del suelo.

Fecha de muestreo del suelo	Precipitación (mm)	Riego (mm)	Total (mm)
30/09/2009 - 15/03/2010	170	13	182
15/03/2010 - 30/09/2010	144	610	754
30/09/2010 - 07/04/2011	169	45	214
07/04/2011 - 13/09/2011	171	572	743
13/09/2011 - 23/02/2012	89	71	160
23/02/2012 - 13/09/2012	139	675	814

Los resultados y conclusiones generales que se deducen de las Tablas 31a, 31b y 31c son:

- 1- En todas las fechas de muestreo (excepto en tres fechas iniciales de la estación de riego) la CEe fue mínima en el gotero (G), intermedia en la línea de goteros (LG) y máxima en la línea de árboles (LA). Así, en base a la media de los tres años, cuatro tratamientos de acolchado y dos fechas de muestreo (total de 24 muestras de suelo), los valores de CEe fueron:

$$LA (5.0 \text{ dS m}^{-1}) > LG (3.2 \text{ dS m}^{-1}) > G (2.0 \text{ dS m}^{-1})$$

Puesto que la CE media del agua de riego fue de 1.1 dS m^{-1} , estos resultados indican que la CEe en el gotero fue tan solo 1.8 veces superior a la del agua de riego, en contraste con los valores de 2.9 y 4.2 veces superior en la línea de goteros y línea de árboles, respectivamente. Dado que en riego por goteo la FL disminuye con la distancia al gotero, este resultado está de acuerdo con las inversas de las FL (esto es, con el factor de concentración del agua de riego en el suelo), mínimas en el gotero, intermedias en la línea de goteros y máximas en la línea de árboles.

- 2- En cada posición de muestreo de los años 2010 y 2011 la CEe aumentó (con cuatro excepciones) entre el muestreo inicial y final en todos los tratamientos de acolchado. Es decir, la salinidad del suelo aumentó a lo largo de las estaciones de riego de los años 2010 y 2011 en todos los tratamientos de acolchado del suelo, resaltando el peligro de salinización en ausencia de aguas suplementarias de lavado (lluvia o riego). Por el contrario, la salinidad del suelo disminuyó (con tres excepciones) a lo largo de la estación de riego del año 2012 en todos los tratamientos de acolchado. Estas tendencias opuestas entre los años 2010-2011 y 2012 se han justificado anteriormente en base a que la CEe inicial en 2012 fue mucho más elevada que en 2010 y 2011 debido a las menores precipitaciones antecedentes.

Es interesante resaltar que a pesar de las tendencias contrarias en la evolución de la salinidad en los años 2010-2011 (ascendente) y 2012 (descendente), los valores finales de CEe (muestreo de septiembre) fueron bastante similares en los tres años estudiados (entre 3.7 y 3.3 dS m^{-1} ; Tabla IV.30), sugiriendo que el volumen total de agua aplicada en la estación de riego, bastante parecida en los tres años (precipitación mas riego entre 743 y 814 mm ; Tabla IV.32) fue en gran medida la que determinó dicha salinidad final, independientemente de la salinidad al inicio de la estación de riego.

- 3- Dadas las elevadas DE de las medias, los valores de CEe para cada tratamiento y posición de muestro no fueron significativamente diferentes entre si ($P > 0.05$) excepto en los casos señalados con letras en estas Tablas. Los resultados que se deducen de estas Tablas son:

(a) Posición gotero: tanto en 2010 como en 2011 los valores de CEe fueron bajos y no significativamente diferentes entre los tratamientos de acolchado de una fecha dada de muestreo. En el año 2012 los valores finales fueron también bajos y similares entre tratamientos, pero los valores iniciales fueron más elevados y la CEe del acolchado geotextil (4.2 dS m^{-1}) fue significativamente mayor que la del acolchado plástico ($CEe = 2.4 \text{ dS m}^{-1}$).

(b) Posición línea de goteros: los valores finales de CEe en los tres años no fueron significativamente diferentes entre tratamientos. Los valores iniciales de CEe tampoco fueron significativamente diferentes entre tratamientos con las excepciones indicadas en las tablas: CEe corteza pino > CEe suelo desnudo en 2010, CEe geotextil > CEe plástico en 2011, y CEe plástico menor que el resto de tratamientos en 2012.

(c) Posición línea de árboles: en esta posición es donde se obtuvieron mayores diferencias entre tratamientos, aunque el comportamiento de los mismos no fue concordante. En 2010 no hubo diferencias significativas entre tratamientos en el

muestreo inicial, pero en el final la CEe del acolchado plástico (4.9 dS m^{-1}) fue menor que la del acolchado geotextil (7.2 dS m^{-1}). En 2011 no hubo diferencias significativas entre tratamientos en el muestreo final, pero en el inicial la CEe del acolchado plástico (7.0 dS m^{-1}) fue mayor que la del suelo desnudo y acolchado corteza de pino (en torno a 4.0 dS m^{-1}). En 2012 el acolchado plástico (6.7 dS m^{-1}) en el muestreo inicial tuvo una CEe significativamente mayor que la del resto de tratamientos (alrededor de 4.3 dS m^{-1}), mientras que en el muestreo final la CEe del geotextil (7.6 dS m^{-1}) fue significativamente mayor y la CE de la corteza de pino (3.7 dS m^{-1}) fue significativamente menor que la del resto de tratamientos.

Los resultados obtenidos en estas Tablas no fueron siempre coherentes con lo esperado, ya que cabría anticipar que el suelo desnudo fuera el de mayor salinidad (máxima evaporación) y el acolchado plástico el de menor salinidad (mínima evaporación). Tal como se discute más adelante, esta tendencia general puede verse modificada por las lluvias que lavarían en mayor o menor medida las sales acumuladas en todos los tratamientos excepto en el plástico. Así, la máxima CEe en abril de 2011 y en febrero de 2012 se alcanzó en la línea de árboles del plástico, tratamiento donde las lluvias antecedentes no serían operativas para el lavado de sales. Un hito relevante sería el desarrollo de materiales de acolchado que permitieran el paso del agua de lluvia pero impidieran la evaporación del agua del suelo, situación en la que se lograría el lavado de sales junto con la minimización de la evapoconcentración de las sales en el suelo.

La Tabla IV.33 presenta para los años 2010, 2011 y 2012, las tres posiciones de muestro y los cuatro tratamientos de acolchado los cambios relativos de la CEe media de los cuatro árboles control (repeticiones) en septiembre en relación a los valores de la CEe media al inicio de la estación de riego. Estos cambios relativos expresan tendencias de salinización o lavado de sales del suelo.

De esta Tabla se deducen los siguientes resultados:

- 1- En las estaciones de riego de los años 2010 y 2011 la salinidad media aumentó en torno a un 32%. De los 24 valores obtenidos (2 años x 3 posiciones x 4 tratamientos), el 79% (19 valores) tuvieron incrementos de CEe de entre el 11 y el 208%, y el 17% (4 valores) tuvieron descensos de CEe de entre el 0 y el -16%.

En la estación de riego del año 2012 la salinidad media disminuyó un 18%. De los 12 valores obtenidos (1 año x 3 posiciones x 4 tratamientos), el 75% (9 valores) tuvieron descensos de CEe de entre el 14 y 59% y el 25% (3 valores) tuvieron incrementos de CEe de entre el 24 y 81%.

Tal como se ha discutido anteriormente, en 2010 y 2011 el suelo del muestreo inicial se vio sujeto al lavado de sales derivado de las importantes lluvias antecedentes y del ligero riego aplicado antes del muestreo, lo que condujo a un valor inicial de la salinidad relativamente bajo (2.8 dS m^{-1}). La ETc de la nectarina durante la estación de riego provocó el aumento de salinidad hasta alcanzar un valor promedio de 3.7 dS m^{-1} (Tabla IV.30). En 2012, el suelo del muestreo inicial no se vio sujeto a un lavado apreciable de sales ya que no se aplicó riego inmediatamente antes del muestreo y la lluvia antecedente fue de tan solo 89 mm, lo que condujo a un valor inicial de la salinidad relativamente alto (4.0 dS m^{-1}). La ETc de la nectarina durante la estación de riego provocaría un aumento de la salinidad que se vio contrarrestado por la aplicación de un volumen de riego elevado (675 mm) con aguas de salinidad relativamente baja ($CE = 1.1 \text{ dS m}^{-1}$), lo que provocó que la salinidad del suelo disminuyera hasta un valor promedio de 3.3 dS m^{-1} (Tabla IV.30). Tal como cabía esperar, este lavado de sales por el agua de riego fue máximo junto al gotero y la línea de goteros, posiciones donde infiltra más agua que la posición línea de árboles.

- 2- Posiciones de muestreo del suelo: el orden de salinización (o lavado) relativa media de las tres posiciones de muestreo del suelo fue:

Año 2010: LA (45%) > LG (30%) > G (11%)

Año 2011: LG (65%) = G (64%) > LA (10%)

Año 2012: LA (13%) > LG (-34%) > G (-44%)

El orden en los años 2010 y 2012 es similar y consistente con las inversas de las fracciones de lavado (FL-G > FL-LG > FL-LA), pero el orden en el año 2011 es inconsistente con las mismas, ya que la línea de árboles (LA) con una presumible menor FL (mayor inversa de FL) es la posición que menos se salinizó (solo un 10% frente a una salinización del 65% en las otras dos posiciones). Una posible explicación a esta anomalía puede ser el valor extremadamente alto de la CEE del acolchado plástico en abril de 2011 (7.0 dS m⁻¹; Tabla IV.32b) que provoca que la CEE media inicial sea muy elevada (5.1 dS m⁻¹). Este valor tan elevado puede ser debido a que este acolchado no intercepta la lluvia caída en los meses anteriores al muestreo lo que impide el lavado de sales. Este resultado se confirma por los datos del año 2012 en el que el tratamiento plástico tuvo asimismo el mayor valor de CEE en la posición LA (6.7 dS m⁻¹; Tabla IV.32c).

Tabla IV.33. Cambios relativos de CEE entre el muestreo final e inicial (100 (CEE final-CEE inicial)/CEE inicial) en cada tratamiento de acolchado y posición de muestreo del suelo en las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012.

Cambio relativo de CEE (%) entre el muestreo final e inicial en las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012					
Posición de muestreo del suelo	Línea de Árboles (LA)	Gotero (G)	Línea de Goteros (LG)	Media	
Tratamiento					
2010	Desnudo (D)	24	16	23	21
	Geotextil (G)	50	0	68	47
	Corteza de pino (C)	62	-4	-16	12
	Plástico (P)	48	11	52	44
	Media	45	11	30	31
2011	Desnudo (D)	56	64	56	61
	Geotextil (G)	15	64	50	33
	Corteza de pino (C)	-3	73	18	17
	Plástico (P)	-16	42	208	22
	Media	10	64	65	33
2012	Desnudo (D)	28	-38	-59	-28
	Geotextil (G)	81	-50	-27	0
	Corteza de pino (C)	-14	-48	-46	-34
	Plástico (P)	-21	-29	24	-11
	Media	13	-44	-34	-18

- 3- Tratamientos de acolchado: el orden de variación de la salinidad media (porcentajes relativos en paréntesis) de las tres posiciones de muestreo del suelo en cada tratamiento de acolchado fue:

Año 2010: Geot (47%) > Plas (44%) > Desn (21%) > Cort (12%)

Año 2011: Des (61%) > Geot (33%) > Plas (22%) > Cort (17%)

Año 2012: Geot (0 %) > Plas (-11 %) > Desn (-28 %) > Cort (-34 %)

Es decir, el orden de los tratamientos fue, con excepción del suelo desnudo (D), similar en los tres años (Geot > Plas > Cort), de tal manera que la corteza de pino fue el acolchado más eficaz para el control de la salinidad del suelo y el geotextil el menos eficaz.

La mayor eficiencia de la corteza de pino cabría atribuirla al efecto combinado del lavado de sales por la lluvia y de su menor evapoconcentración ya que es un acolchado que reduce de forma muy significativa la evaporación de agua del suelo (según el ensayo 2 de esta Tesis, la evaporación con este acolchado fue el 45% de la del suelo desnudo). Este resultado coincide con los de Chaudhry et al. (2004) y Zhang et al. (2008) en el sentido de que los acolchados orgánicos (paja de arroz y hojas de pino) fueron más efectivos para el control de la salinidad que el suelo desnudo o bajo plástico.

La menor eficiencia del geotextil cabría atribuirla a que, aunque permite en principio el paso del agua de lluvia y el consiguiente lavado de sales, su evapoconcentración es mucho más elevada ya que es un acolchado que reduce muy poco la evaporación de agua del suelo (según el ensayo 2 de esta Tesis, la evaporación con este acolchado cuando está en contacto con el suelo húmedo fue del 93% de la del suelo desnudo).

La mayor eficiencia de la corteza de pino y la menor eficiencia del geotextil coinciden con los resultados obtenidos en los ensayos en bandejas y en microparcels del capítulo III (Evaporación del suelo con distintos acolchados), donde el residuo de poda fue el más eficiente y el geotextil el menos eficiente en reducir la evaporación. Cabe indicar que este resultado contradice aparentemente al obtenido en el ensayo con microlisímetros, donde el geotextil fue más eficiente que la corteza de pino. Sin embargo, en dicho ensayo el geotextil no estuvo en contacto directo con el suelo húmedo, mientras que en el ensayo en microparcels el geotextil reposaba directamente sobre el suelo y pudo absorber por capilaridad el agua del suelo y evaporarla. El presumible elevado potencial de capilaridad de este material hace sospechar que parte del agua de lluvia pueda retenerse en sus poros y evaporarse en lugar de infiltrar el suelo, en cuyo caso el volumen de agua disponible para el lavado disminuiría y la salinización del suelo aumentaría.

Respecto al suelo desnudo, hay que considerar por un lado el efecto positivo del lavado de sales por el agua de lluvia que infiltra en su totalidad el suelo (salvo en casos de escorrentía superficial) y por otro lado el efecto negativo de su elevada evaporación de agua y evapoconcentración de sales en el suelo. Así, en el año 2010 donde el incremento relativo de la CEe a lo largo de la estación de riego fue mayor en el acolchado plástico (44%) que en el suelo desnudo (21%), la lluvia recogida entre las fechas de muestreo de marzo y septiembre fue de 160 mm, de los que 40 mm se recogieron en el mes de septiembre, antes del muestreo final. Esta lluvia pudo provocar el lavado de sales en el suelo desnudo en contraposición con el acolchado plástico, justificando la mayor salinización de este último. Por el contrario, en 2011 el suelo desnudo fue el que más se salinizó (61%) a pesar de que la lluvia recogida entre las fechas de muestreo fue de 171 mm. Sin embargo, al contrario que en 2010, la lluvia recogida en septiembre antes del muestreo final del suelo fue de tan solo 5 mm. Además, desde el 1 de junio hasta la fecha de muestreo (periodo de alta demanda evaporativa) la cantidad de lluvia registrada fue de 28 mm, cantidad insuficiente para el lavado de sales. En 2012, la cantidad de lluvia recogida en este periodo fue de 60 mm. Esta precipitación más el riego aplicado serían capaces de minimizar la salinidad en el suelo desnudo más que en el plástico, sobre todo en la posición gotero y línea de goteros. Por lo tanto, la eficiencia relativa del acolchado

plástico depende de la precipitación, ya que si ésta es muy elevada su eficiencia puede ser inferior a la de otros acolchados o a la del suelo desnudo.

Para finalizar, cabe señalar que los resultados de salinidad obtenidos en base al muestreo del suelo han sido en general consistentes, pero en algunos casos no han sido los esperados (por ejemplo, el orden de salinización del suelo en las tres posiciones de muestreo, contrario al esperado en el año 2011). El carácter puntual en el tiempo y en el espacio de este procedimiento de medida y la elevada variabilidad espacial de la salinidad en riego por goteo hace que pequeñas diferencias en la posición de muestreo al principio y final de la estación de riego pueda producir importantes diferencias en los valores medidos de CEE. Por ello, el seguimiento temporal de la salinidad de la solución del suelo extraída con sondas de succión que se presenta en un apartado posterior (IV.3.3.5.2.) es a priori un enfoque más adecuado para caracterizar la variabilidad espacio-temporal de la salinidad edáfica.

- **Relaciones conductividad eléctrica del extracto de suelo (CEE) – déficit hídrico (DH) – fracción de lavado (FL)**

Conceptualmente, la salinidad del suelo debe aumentar con la ETc de los cultivos (efecto evapoconcentración del agua y sales disueltas en la zona de raíces) y disminuir con la precipitación (P) y el riego (R) (efecto lavado de sales por aguas de menor salinidad que la de la solución del suelo). Estas tres variables (ETc, P y R) pueden combinarse para obtener dos parámetros con los que relacionar la salinidad del suelo: el déficit hídrico ($DH = ETc - R - P$) y la fracción de lavado [$FL = (R + P - ETc) / (R + P)$]. La variación de la salinidad del suelo en un período determinado debería ser positiva (salinización del suelo) conforme mayor sea DH y menor FL, y negativa (lavado de sales del suelo) en caso contrario. El objetivo de este apartado es analizar las relaciones CEE-DH-FL en los tres años experimentales de nectarina.

La Tabla IV.34 resume los valores medios de CEE medidos en cada tratamiento de acolchado y fecha de muestreo, el número de días entre las fechas de muestreo, los valores acumulados de riego, precipitación y evapotranspiración entre las fechas de muestreo, y los valores de DH y FL.

La CEE media (0-45 cm de profundidad) de las tres posiciones de muestreo y los cuatro árboles control varió entre 2.3 y 4.4 dS/m según tratamientos y fechas de muestreo. El hecho más relevante es que, tal como se ha indicado anteriormente, los valores de CEE al inicio de la estación de riego del año 2012 fueron superiores a los del final de la estación de riego del año 2011 debido a las escasas lluvias producidas entre ambas estaciones.

El volumen de riego (R), idéntico en los cuatro tratamientos de acolchado, fue bastante similar en las estaciones de riego de 2010 (610 mm) y 2011 (572 mm) y más alto en 2012 (675 mm). Durante las estaciones de no riego de los años 2010, 2011 y 2012 se aplicaron unos pequeños volúmenes de riego (12, 45 y 71 mm respectivamente) (Tabla IV.32).

La precipitación (P) acumulada entre las fechas de muestreo fue relativamente parecida en las estaciones de riego (144 mm, 171 mm y 139 en las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012), mientras que la P en la estación de no riego de 2011 (169 mm) fue un 90% mayor que la de la estación de no riego de 2012 (89 mm). Dado que el plástico es teóricamente impermeable a la lluvia, se le ha asignado un valor de $P = 0$ mm en la Tabla IV.34. Sin embargo, no puede descartarse que parte del agua de lluvia interceptada por el plástico (y que se acumula en las calles de la plantación) infiltrase el suelo y llegara lateralmente a las zonas de muestreo del suelo (en particular en el gotero y línea de gotero, posiciones más cercanas a la calle que la posición línea de árboles). Algunos resultados presentados anteriormente sugieren que esta posibilidad pudo existir.

La ETc del suelo desnudo fue similar en las estaciones de riego de 2010 (846 mm) y 2011 (819 mm) y mayor en la de 2012 (928 mm). Tal como cabe esperar, la ETc en las estaciones

de no riego es mucho más baja (177 mm en 2011 y 191 mm en 2012). Los valores de ETc en el resto de tratamientos de acolchado se redujeron en base al procedimiento descrito en el capítulo de Material y Métodos.

Tabla IV.34. Valores medios de CEe medidos en cada fecha de muestreo del suelo y tratamiento de acolchado. Para los cinco períodos entre las seis fechas de muestreo se presentan el número de días acumulados, los valores acumulados de riego (R), precipitación (P) y evapotranspiración (ETc), y los valores de déficit hídrico (DH) y fracción de lavado (FL).

		Fecha de muestreo (día/mes/año)					
		15/03/2010	30/09/2010	7/04/2011	13/09/2011	28/02/2012	13/09/2012
Días acumulados		199	189	159	163	208	
CEe (dS m ⁻¹)	Desnudo	2.9	3.5	2.3	3.6	3.9	2.8
	Geotextil	3.0	4.4	3.0	4.0	4.4	4.4
	Corteza	3.1	3.6	2.4	2.8	4.1	2.7
	Plástico	2.5	3.6	3.2	3.9	3.8	3.4
R (mm)	Desnudo	610	45	572	71	675	
	Geotextil	610	45	572	71	675	
	Corteza	610	45	572	71	675	
	Plástico	610	45	572	71	675	
P (mm)	Desnudo	144	169	171	89	139	
	Geotextil	144	169	171	89	139	
	Corteza	144	169	171	89	139	
	Plástico	0	0	0	0	0	
ETc (mm)	Desnudo	846	177	819	191	928	
	Geotextil	821	172	795	185	900	
	Corteza	719	151	696	162	789	
	Plástico	618	129	598	139	677	
DH (mm)	Desnudo	92	-37	76	31	114	
	Geotextil	67	-43	52	25	86	
	Corteza	-35	-64	-46	2	-25	
	Plástico	8	84	26	68	3	
FL	Desnudo	-0.12	0.17	-0.10	-0.19	-0.14	
	Geotextil	-0.09	0.20	-0.07	-0.16	-0.11	
	Corteza	0.05	0.30	0.06	-0.01	0.03	
	Plástico	-0.01	-1.85	-0.05	-0.95	0.00	

El déficit hídrico (DH) expresa la demanda de agua de la nectarina no satisfecha por el riego y la precipitación. Los resultados de la Tabla IV.35 indican que el orden creciente del DH de los tratamientos de acolchado del suelo en las tres estaciones de riego analizadas fue: Corteza < Plástico < Geotextil < Desnudo. Para la estación de no riego, este orden fue: Corteza < Geotextil < Desnudo < Plástico. El DH acumulado entre el primer y último muestreo siguió el orden (DH entre paréntesis):

Cort (-168 mm) < Geo (187 mm) = Pla (189 mm) < Des (276 mm)

Es decir, la corteza de pino es el acolchado con el menor DH y su valor acumulado es negativo, lo que sugeriría que hubo disponible un volumen de agua de unos 168 mm para el lavado de las sales del suelo. De hecho, los valores iniciales (3.1 dS m^{-1}) y finales (2.7 dS m^{-1}) de la CEE en la Tabla IV.35 indican que hubo un lavado neto de sales en este tratamiento. Para el resto de tratamientos el DH es positivo, lo que sugeriría que no hubo agua para el lavado de sales y, por lo tanto, el suelo se salinizó a lo largo del periodo estudiado. Este es el resultado en los tratamientos con geotextil y plástico, pero no en el suelo desnudo donde la CEE inicial y final fue similar (en torno a 2.8 dS m^{-1}) a pesar de ser el tratamiento con mayor DH (276 mm). Este resultado incongruente no tiene una explicación plausible.

La Figura IV.51 presenta para cada tratamiento de acolchado la CEE media del suelo (3 posiciones de muestreo x 4 repeticiones = 12 valores) medida en seis fechas de muestreo entre abril 2010 y septiembre 2012 junto con los valores de déficit hídrico (DH) calculados para los cinco períodos comprendidos entre las fechas de muestreo. La CEE aumentó en todos los tratamientos en las dos estaciones de riego de 2010 y 2011 y disminuyó (o se mantuvo estable con el geotextil) en la estación de riego de 2012. La CEE disminuyó en la estación de no riego de 2011, pero aumentó en la de 2012. En general, los incrementos de CEE se produjeron con DH elevados y los descensos con DH bajos. Las tendencias globales de salinidad del suelo en el periodo estudiado desde abril 2012 hasta septiembre 2012 son bastante estables, y únicamente en el acolchado de geotextil se aprecia un ligero incremento de la salinidad con el tiempo.

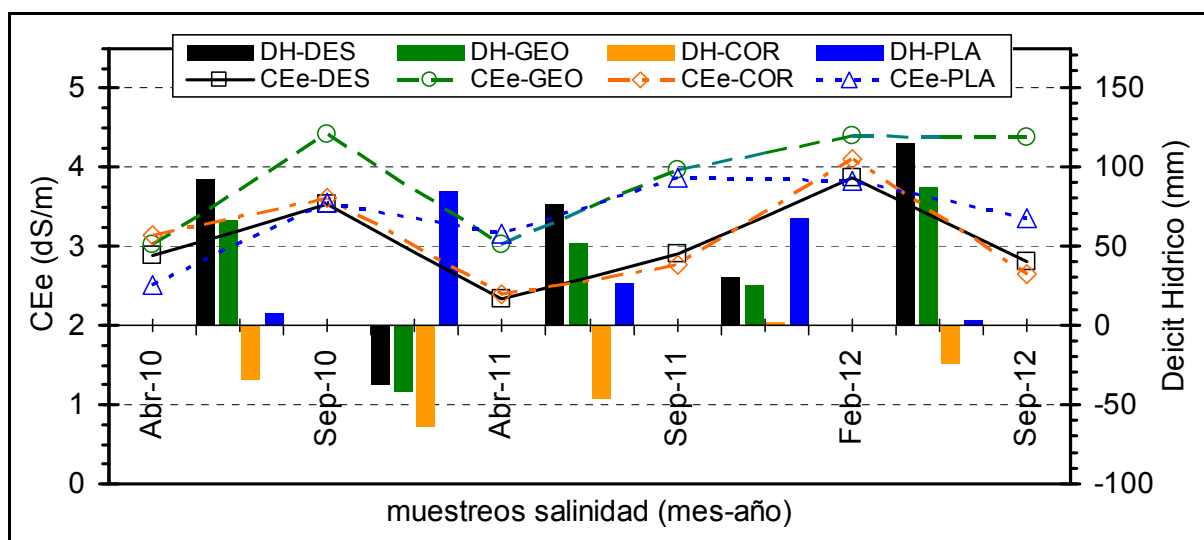


Figura IV.51. Salinidad del suelo (CEe, 0-45 cm de profundidad) medida en cada fecha de muestreo y tratamiento de acolchado, y déficit hídrico (DH) calculado entre las fechas de muestreo del suelo de cada tratamiento de acolchado.

Con el objetivo de establecer la posible relación entre salinidad y DH, se han relacionado los cambios porcentuales diarios de la CEE entre dos fechas de muestreo (ΔCEE) con el DH acumulado en esas fechas de muestreo (Figura IV.52). La regresión lineal entre ambas variables con 20 observaciones tiene una pendiente positiva (es decir la salinización aumenta con el DH, tal como cabía esperar conceptualmente), pero la correlación entre ellas no es significativa ($R = 0.324$, ns a $P > 0.05$).

Un análisis más detallado de las observaciones muestra que tres de ellas (una en suelo desnudo y dos en plástico) tienen algún valor en las repeticiones que se aleja de forma extraordinaria del resto de las mismas y/o que dichas observaciones son anómalas por tener valores negativos de ΔCEE con valores positivos de DH. La eliminación de estas tres observaciones produce una ecuación que también tiene una pendiente positiva y con una correlación significativa ($R = 0.614$, s a $P < 0.01$). Ambas ecuaciones indican que la salinización del suelo aumenta con el incremento del DH. En base a la ecuación

significativa, valores de DH > -8 mm conducen a un incremento neto de sales en el suelo ($\Delta\text{CEe} > 0$). Por lo tanto, el lavado de sales del suelo ($\Delta\text{CEe} < 0$) implica la aplicación de riegos que reduzcan el DH hasta valores negativos inferiores a -8 mm. Estos riegos pueden efectuarse en la estación de no riego con el objeto de hacerlos compatibles con la estrategia de riego deficitario controlado durante la estación de riego.

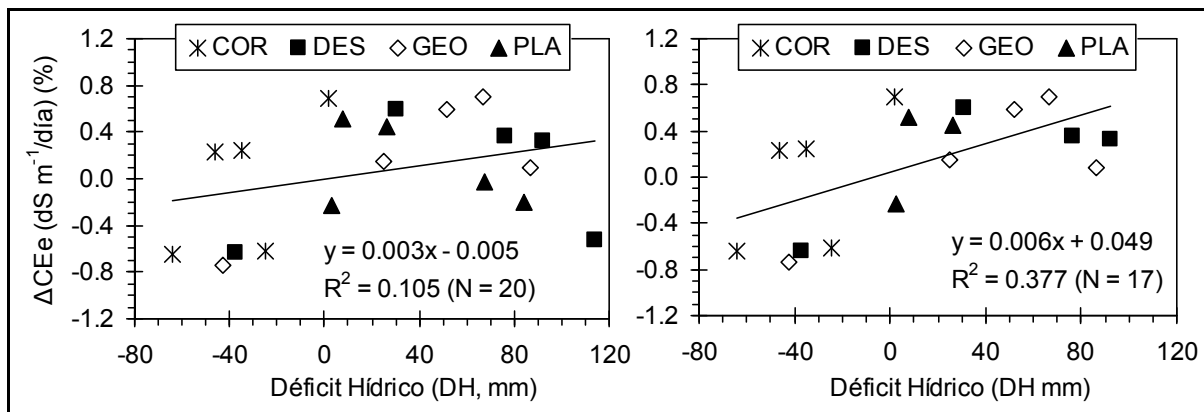


Figura IV.52. Regresiones lineales con 20 y 17 observaciones (N) entre el déficit hídrico (DH) y la variación porcentual diaria de la CEE entre las fechas de muestreo de cada tratamiento de acolchado (ΔCEe).

La fracción de lavado (FL) expresa la fracción del agua infiltrada en el suelo ($R + P$) que percola por debajo de la zona de raíces de los cultivos y, por lo tanto, es un indicador de la cantidad de agua disponible para el lavado de sales. La inversa de la FL ($F_c = 1/FL$) es el factor de concentración del agua y sales en el suelo debido a la evapotranspiración de los cultivos.

Este indicador asume un régimen estacionario del agua en el suelo y es un valor medio derivado de un balance simplificado del agua en el suelo donde el drenaje es la diferencia entre ($R + P$) y ETc . Sin embargo, la FL media, frecuentemente utilizada satisfactoriamente en riego por superficie o por aspersión, es inapropiada en riego localizado, ya que varía radialmente con la distancia al emisor. Aunque la FL media puede ser muy baja o incluso negativa, la FL en la proximidad del gotero puede ser elevada. Otras razones que explican valores negativos de FL serían que se asume que la humedad del suelo está en régimen permanente y, principalmente, que la ETc es la máxima potencial del cultivo y no la ETc actual minorada por posibles estreses bióticos o abióticos.

Hanson et al. (2008) indicaron que aunque las FL medias calculadas en su estudio en base a un balance de agua en el suelo con inexistencia de lavado a nivel parcela, la salinidad del suelo medida cerca de los emisores de riego indicaba que la FL en esas zonas era considerable. Estos autores definieron la “fracción de lavado local” (FLL) como la FL actual representativa del dominio de raíces local próximo al gotero. Es decir, la FLL se calcula a partir de la tasa de distribución del agua absorbida por las raíces en vez de a partir de la ETc que es el método utilizado en el balance de agua. Aunque en base a la definición convencional de FL [$FL = (R + P - \text{ETc}) / (R + P)$] la misma resulta en valores de cero o negativos para valores de ($R + P$) iguales o inferiores a ETc , en riego por goteo la FLL puede ser considerable cerca de los emisores incluso en riego deficitario ($FL < 0$). Este es el caso en la plantación de nectarina estudiada donde los valores de CEE fueron mucho más bajos en G y LG que en LA. La FL puede estimarse con modelos como HYDRUS-2D ya que no es posible o es muy difícil calcularla con datos experimentales debido a la variabilidad espacio-temporal del agua, sales y dominio de raíces local en riego por goteo.

Los valores de FL de la Tabla IV.35 indican que todos ellos fueron positivos o próximos a cero en el acolchado de corteza de pino y negativos con alguna excepción en el resto de

acolchados. Obviamente, una FL negativa no tiene sentido físico, ya que en régimen permanente no es posible que la ETc sea mayor que (R + P). Aun así, valores negativos de FL expresarían elevadas evapoconcentraciones y valores positivos de FL expresarían evapoconcentraciones más bajas, y tanto más bajas conforme mayores sean las FL.

El orden decreciente de la FL calculada para los tratamientos de acolchado en las dos estaciones de riego fue: Corteza > Plástico > Geotextil > Desnudo. En las dos estaciones de no riego, este orden fue: Corteza > Geotextil > Desnudo > Plástico. Asimismo, en la estación de no riego del 2011, con una P de 169 mm, la FL fue positiva en todos los tratamientos de acolchado excepto en el plástico, material impermeable a la lluvia que impidió el lavado de sales. El acolchado del suelo con materiales que previenen la evaporación pero permiten el paso del agua de lluvia (como el material de corteza de pino) favorece valores superiores de FL que minimizan la salinización del suelo debida a la evapotranspiración de los cultivos. Estos resultados coinciden con los de Caballero et al. (2001) en los que se destaca que en los sistemas de regadío en los que el riego se ajusta a las necesidades del cultivo, el lavado de sales se produce durante la temporada de no crecimiento que coincide con las lluvias de invierno y otoño. Sin embargo, este no fue el caso en la estación de no riego de 2012 en la que la lluvia (89 mm entre 13/09/2011 y 23/02/2012, Tabla IV.33) no fue suficiente para el lavado de sales.

Conceptualmente, la salinización del suelo está negativamente relacionada con la FL, por lo que debe ser mayor conforme menor sea la FL. Por lo tanto, el grado de salinización del suelo debe ser el opuesto al orden de los valores de FL anteriores, por lo que la corteza de pino (mayor FL) debería ser la más eficiente para el control de la salinización del suelo. Los resultados de la Tabla IV.34 indican que efectivamente este acolchado fue el que produjo la menor salinización del suelo en los tres años analizados.

La Figura IV.53 presenta la evolución de la CEe media del suelo en las seis fechas de muestreo, junto con los valores de fracción de lavado (FL) calculados para los cinco períodos entre las fechas de muestreo. En general, los incrementos de CEe se produjeron con FL bajas (estaciones de riego) y los descensos de CEe con FL elevadas (estación de no riego).

La Figura IV.54 presenta las regresiones lineales con 20 y 17 observaciones entre FL y Δ CEe. La ecuación con 20 observaciones no es significativa, pero la eliminación de las tres observaciones anómalas indicadas anteriormente (dos de ellas con valores extremadamente negativos de FL) produce una ecuación con una pendiente negativa y un coeficiente de correlación ($R = 0.746$) significativo a $P < 0.001$. En base a la ecuación con 17 observaciones, se deduce que el suelo sufre un proceso de salinización (Δ CEe > 0) para valores de FL inferiores a 0.04. Por lo tanto, el lavado de sales del suelo (es decir, Δ CEe < 0) en esta zona semiárida con precipitaciones relativamente bajas implica la aplicación de riegos que incrementen la FL a valores iguales o superiores a este valor.

Estas relaciones de salinización del suelo con DH (relación positiva) y FL (relación negativa) alertan seriamente acerca de los peligros de acumulación de sales en sistemas de riego muy eficientes o estrategias de riego deficitario con aguas de una cierta salinidad ($CE > 1 \text{ dS m}^{-1}$) (como es el caso del Bajo Ebro Aragonés) donde se pueden alcanzar valores muy elevados de DH y muy bajos de FL. Así, Schoups et al. (2005) indicaron que una consecuencia de un riego deficitario es el mayor riesgo de aumento de la salinidad del suelo, y Román et al. (1999) indicaron que la propuesta de reducir la FL para minimizar las pérdidas de agua durante el periodo de riego debe ser cuidadosamente estudiada debido a la posible acumulación de sales en el suelo después de la cosecha. Sin embargo, ya se ha comentado anteriormente la singularidad del riego por goteo donde la fracción de lavado local (FLL) cerca de los emisores es muy superior a la FL media, lo que permite el lavado de sales en estas zonas a pesar de que el riego pueda considerarse deficitario a nivel parcela.

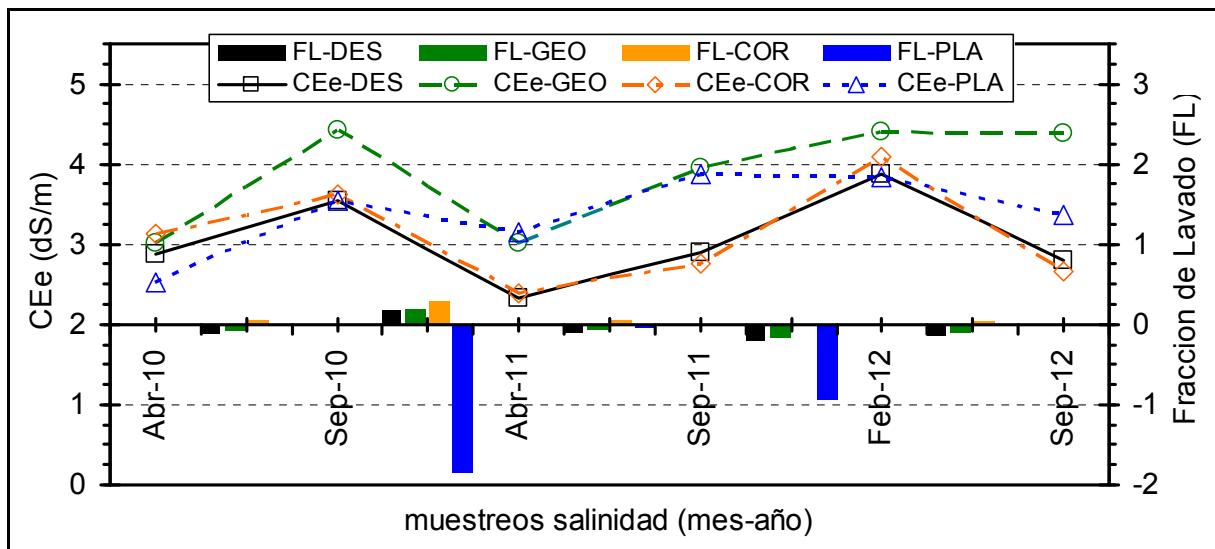


Figura IV.53. Salinidad del suelo (CEe, 0-45 cm de profundidad) en los cuatro tratamientos de acolchado medida en las fechas de muestreo del suelo de los años 2010, 2011 y 2012 y fracción de lavado (FL) calculada entre las fechas de muestreo del suelo.

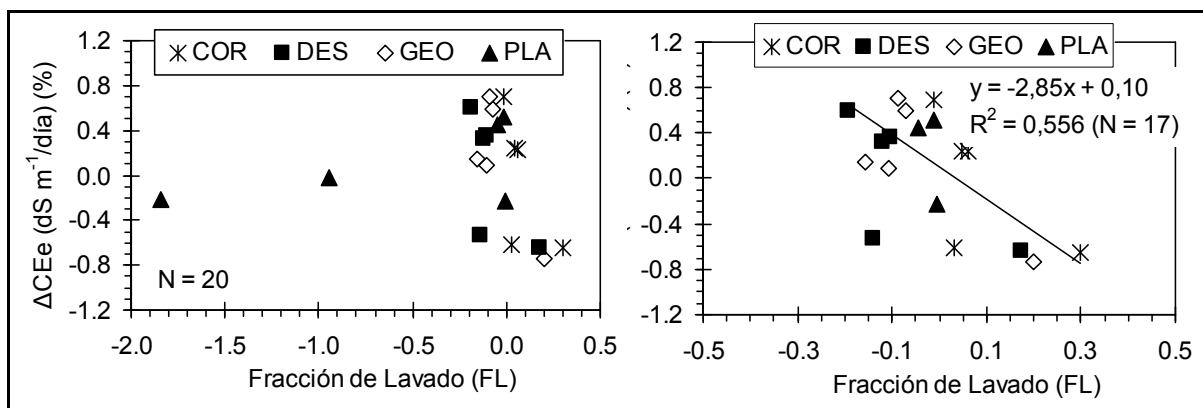


Figura IV.54. Regresiones lineales con 20 y 17 observaciones (N) entre la fracción de lavado (FL) y la variación porcentual diaria de la CEE entre las fechas de muestreo de cada tratamiento de acolchado (ΔCEE).

IV.3.3.5.2. Conductividad eléctrica de la solución del suelo (CEss)

El análisis de la CEE efectuado a partir del muestreo del suelo al principio y final de las estaciones de riego de cada año estudiado es importante porque permite (1) cuantificar los niveles de salinidad de cada año, (2) establecer tendencias de salinización o lavado, y (3) relacionar dichas tendencias con el déficit hídrico y la fracción de lavado medios calculados en dichos períodos.

Sin embargo, los resultados de esta metodología basada en muestreos puntuales del suelo pueden verse afectados por eventos puntuales próximos a los muestreos, como lluvias o riegos, así como por las ineludibles modificaciones en las posiciones de muestreo en las distintas fechas. Por ello, el análisis de la evolución temporal de la salinidad es más sólido si se efectúa a través de sus medidas frecuentes efectuadas en posiciones fijas de muestreo mediante la extracción in-situ de la solución del suelo y el análisis de su conductividad eléctrica (CEss). La metodología aplicada consistió en la medida de la CEss de muestras de la solución del suelo extraídas semanalmente (quincenalmente en 2012) en 96 sondas de succión instaladas en tres posiciones (gotero, línea de goteros y línea de árboles), dos

profundidades de suelo (20 y 40 cm), cuatro tratamientos de acolchado (desnudo, plástico, geotextil y corteza de pino) y cuatro árboles/tratamiento (3 x 2 x 4 x 4 = 96 sondas).

IV.3.3.5.2.1. Porcentajes de extracción con las sondas de succión

A lo largo de las estaciones de riego de los años 2010 a 2012 existieron valores perdidos de CEss por la incapacidad de algunas sondas de extraer la solución del suelo, sobre todo en la posición línea de árboles (Anejos 1 y 2), debido a la baja humedad del suelo en dicha posición. Asimismo, algunas sondas dejaron de funcionar por roturas, pérdidas de saturación de las cerámicas porosas y pérdidas del vacío aplicado. Este último problema fue de particular importancia en 2011 debido a que después de un año en campo, algunos tapones de plástico tenían pequeñas grietas imperceptibles visualmente por las que penetró el aire en la sonda. Por ello, en 2012 estos tapones se lubricaron con vaselina para sellar completamente las sondas, lo que minimizó sustancialmente estas pérdidas de vacío.

Las Tablas IV.35 a IV.37 presentan para cada año experimental, posición de gotero, profundidad de suelo y tratamiento de acolchado el porcentaje de extracciones efectivas sobre el total teórico de extracciones. En el año 2011 no se presenta la línea de árboles porque se obtuvieron muy pocas extracciones debido a la combinación de las bajas humedades y el agrietamiento de los tapones anteriormente indicado. Tal como cabe esperar, los mayores porcentajes de extracción se alcanzaron en la posición gotero (mayor humedad del suelo) (71% en promedio de los tres años), seguidos de la posición línea de goteros (63% en promedio de los tres años) y la posición línea de árboles (menor humedad del suelo) (47% en promedio de los tres años, y con tan solo un 25% de extracciones efectivas en 2011).

Tabla IV.35. Año 2010. Porcentajes de extracción de la solución del suelo sobre el total teórico en cada posición de muestreo, profundidad de suelo y tratamiento de acolchado. El total teórico de extracciones en cada posición, profundidad y acolchado fue de 92 (23 fechas de extracción x 4 bloques).

Año 2010							
Extracciones efectivas sobre el total teórico (%)							
Posición muestreo	Línea árboles		Gotero		Línea goteros		Media
Profundidad (cm)	20	40	20	40	20	40	
Desnudo	37	42	64	56	73	76	58
Geotextil	34	47	87	62	74	74	63
Corteza	39	42	96	91	68	82	70
Plástico	27	45	89	92	47	64	61
Media	34	44	84	75	65	74	63

Las diferencias de extracción entre profundidades de suelo no fueron sistemáticas, aunque fueron generalmente algo mayores a 20 que a 40 cm. Las diferencias entre tratamientos de acolchado no fueron importantes, aunque se observa que en general el suelo desnudo tuvo los menores porcentajes de extracción y el acolchado de corteza el de mayores porcentajes de extracción. Dado que estos porcentajes están relacionados en gran medida con la humedad del suelo, estos resultados sugieren que el suelo desnudo sería el de menor humedad y el suelo bajo corteza de pino el de mayor humedad.

Respecto a las diferencias de extracción entre años, los porcentajes más bajos se obtuvieron en el año 2011 (media del 46% sin tener en cuenta la línea de árboles donde el porcentaje de extracción fue tan solo del 25%), y los más elevados en el año 2012 (media del 79%) debido al sellado de los tapones con vaselina. Este sellado es una práctica muy

recomendable para el éxito de esta metodología. A efectos comparativos entre años, los porcentajes de extracción medios para las posiciones gotero y línea goteros fueron del 74% en 2010 (tapones nuevos), 46% en 2011 (tapones viejos con más de un año en el campo) y 81% en 2012 (tapones viejos lubricados con vaselina), resaltando los serios problemas de extracción del año 2011, donde menos de la mitad de las extracciones teóricas fue efectiva.

Tabla IV.36. Año 2011. Porcentajes de extracción de la solución del suelo sobre el total teórico en cada posición de muestreo, profundidad de suelo y tratamiento de acolchado. El total teórico de extracciones en cada posición, profundidad y acolchado fue de 96 (24 fechas de extracción x 4 bloques). Los resultados de la Línea de árboles no se presentan por tener un número irrelevante de extracciones.

Año 2011					
Extracciones efectivas sobre el total teórico (%)					
Posición muestreo	Gotero		Línea de goteros		Media
Profundidad (cm)	20	40	20	40	
Desnudo	50	45	73	57	56
Geotextil	31	48	28	24	33
Corteza	73	47	58	40	54
Plástico	49	47	43	27	41
Media	51	47	51	37	46

Tabla IV.37. Año 2012. Porcentajes de extracción de la solución del suelo sobre el total teórico en cada posición de muestreo, profundidad de suelo y tratamiento de acolchado. El total teórico de extracciones en cada posición, profundidad y acolchado fue de 48 (12 fechas de extracción x 4 bloques).

Año 2012							
Extracciones efectivas sobre el total teórico (%)							
Posición muestreo	Línea árboles		Gotero		Línea goteros		Media
Profundidad (cm)	20	40	20	40	20	40	
Desnudo	46	77	85	71	73	67	70
Geotextil	63	100	83	71	88	81	81
Corteza	71	90	98	98	85	90	89
Plástico	77	85	94	73	67	65	77
Media	64	88	90	78	78	76	79

IV.3.3.5.2.2. Valores medidos de CEss

Las Tablas IV.38 a 40 presentan para cada año experimental, posición de muestreo, profundidad de suelo y tratamiento de acolchado los valores medios de CEss medidos en las respectivas estaciones de riego. La posición línea de árboles no se presenta en 2011 debido al bajo número de extracciones efectivas. A efectos de recopilación de toda la información recogida, los Anejos 1 a 3 presentan los valores individuales de CEss en cada año, posición, profundidad, tratamiento de acolchado y bloque.

De estas Tablas cabe deducir, con algunas excepciones, que la CEss es mayor a 40 que a 20 cm de profundidad, en particular en la línea de árboles del año 2010, donde la CEss a 40 cm fue hasta el doble de la CEss a 20 cm.

Tabla IV. 38. Año 2010. Valores medios de CEss medidos en la estación de riego en cada posición de muestreo, profundidad de suelo y tratamiento de acolchado.

CEss media estación de riego-año 2010 (dS m ⁻¹)										
Posición muestreo	Línea arboles*			Gotero			Línea goteros			Media
	20	40	20+40	20	40	20+40	20	40	20+40	
Desnudo	9.1	12.2	10.6	2.4	2.5	2.4	4.7	6.6	5.7	6.2
Geotextil	6.5	12.6	9.5	1.8	2.3	2.0	6.2	4.1	5.2	5.6
Corteza	5.4	9.9	7.7	2.0	2.3	2.1	4.2	3.6	4.8	4.9
Plástico	4.1	9.9	7.0	1.5	1.8	1.7	5.5	3.3	3.5	4.0

*Valores hasta 1 de junio de 2010. A partir de esa fecha las extracciones fueron irrelevantes

Tabla IV.39. Año 2011. Valores medios de CEss medidos en la estación de riego en cada posición de muestreo, profundidad de suelo y tratamiento de acolchado.

CEss media estación de riego-año 2011 (dS m ⁻¹)							
Posición muestreo	Gotero			Línea goteros			Media
	20	40	20+40	20	40	20+40	
Desnudo	3.1	3.2	3.1	3.1	4.3	3.6	3.4
Geotextil	5.6	3.4	4.3	4.2	4.1	4.2	4.2
Corteza	2.6	3.6	3.0	3.5	4.5	3.9	3.4
Plástico	2.6	2.5	2.5	1.6	1.9	1.7	2.3

Tabla IV. 40. Año 2012. Valores medios de CEss medidos en la estación de riego en cada posición de muestreo, profundidad de suelo y tratamiento de acolchado.

CEss media estación de riego-año 2012 (dS m ⁻¹)										
Posición muestreo	Línea árboles			Gotero			Línea goteros			Media
	20	40	20+40	20	40	20+40	20	40	20+40	
Desnudo	12.5	11.0	11.5	4.4	4.7	4.5	3.4	4.3	3.8	6.5
Geotextil	10.5	11.1	10.8	4.0	4.3	4.3	4.3	6.0	5.1	6.5
Corteza	7.5	9.3	8.5	3.3	5.4	4.4	4.7	5.1	4.9	5.8
Plástico	10.0	10.9	10.5	2.8	5.9	4.1	4.0	6.3	5.1	6.6

En relación a las posiciones de muestreo, los valores más elevados de CEss se han obtenido siempre en la línea de árboles (CEss media de todas las observaciones = 9.5 dS m⁻¹), alcanzando valores cercanos a 13 dS/m en algún caso.

A continuación, los valores más elevados se han obtenido generalmente en la línea de goteros (CEss media de todas las observaciones = 4.3 dS m⁻¹), seguida de los goteros (CEss media de todas las observaciones = 3.2 dS m⁻¹). Sin embargo, en algún caso la CEss en el gotero ha sido similar o incluso superior a la CEss en la línea de goteros (por ejemplo, en el suelo desnudo del año 2012 donde la CEss media en el gotero fue de 4.5 dS/m frente a 3.8 dS/m en la línea de goteros).

Con estas excepciones, cabe concluir que en general los valores medidos de CEss fueron más altos en la línea de árboles, intermedios en la línea de goteros y más bajos en el gotero, y que estos valores fueron más elevados a 40 que a 20 cm de profundidad del suelo. Estos resultados son coherentes con las fracciones de lavado en riego por goteo, máximas junto al

gotero, intermedias en la línea de goteros y mínimas en la línea de árboles, siendo asimismo más elevadas en superficie (20 cm) que en profundidad (40 cm)

En relación a los tratamientos de acolchado, el orden decreciente de los valores de CE_{ss} medios fue (Tablas IV.38 a IV.40):

Año 2010: DES (6.2 dS/m) > GEO (5.6 dS/m) > COR (4.9 dS/m) > PLA (4.0 dS/m)

Año 2011: GEO (4.2 dS/m) > DES (3.4 dS/m) = COR (3.4 dS/m) > PLA (2.3 dS/m)

Año 2012: PLA (6.6 dS/m) ≥ DES (6.5 dS/m) = GEO (6.5 dS/m) > COR (5.8 dS/m)

Tomando las posiciones G y LG comunes a los tres años, el orden decreciente de los valores de CE_{ss} medios fue:

Año 2010: DES (3.9 dS/m) > GEO (3.6 dS/m) > COR (3.4 dS/m) > PLA (2.4 dS/m)

Año 2011: GEO (4.2 dS/m) > DES (3.4 dS/m) = COR (3.4 dS/m) > PLA (2.3 dS/m)

Año 2012: GEO (4.7 dS/m) ≥ PLA (4.6 dS/m) = COR (4.6 dS/m) > DES (4.3 dS/m)

Es decir, el orden en 2010 y 2011 se mantiene, pero en 2012 cambia, siendo el suelo desnudo el de menor CE_{ss} (4.3 dS/m) y con valores similares de CE_{ss} de en torno a 4.6 dS/m en el resto de tratamientos.

Los resultados en 2010 y 2011 son consistentes ya que el suelo desnudo y el acolchado geotextil (mayor evaporación) son los de mayor salinidad y el suelo bajo plástico y la corteza de pino (menor evaporación) los de menor salinidad. Sin embargo, los resultados en 2012 fueron diferentes, ya que la CE_{ss} media de G + LG fue menor en el suelo desnudo que en el resto de tratamientos, resultado inconsistente atendiendo a las razones anteriores.

En relación a los años analizados, la CE_{ss} media anual de todas las observaciones sigue el orden:

CE_{ss} 2012 (6.3 dS m⁻¹) > CE_{ss} 2010 (5.2 dS m⁻¹) > CE_{ss} 2011 (3.3 dS m⁻¹)

Sin embargo, en 2011 no hay medidas en la línea de árboles, lo que puede ser motivo de que la CE_{ss} media sea menor que en los otros dos años. Así, la CE_{ss} media anual para las posiciones de gotero y línea de gotero comunes en los tres años es:

CE_{ss} 2012 (4.6 dS m⁻¹) > CE_{ss} 2010 (3.4 dS m⁻¹) ≥ CE_{ss} 2011 (3.3 dS m⁻¹)

Es decir, la salinidad media medida en el año 2012 fue en torno a un 32% superior a la de los años 2011 y 2010, que fueron muy parecidas entre si.

Si se comparan estos valores con los valores respectivos deducidos de las medidas de CE_e al principio y final de la estación de riego (medias de 2.6 dS m⁻¹ en 2010, 2.0 dS m⁻¹ en 2011 y 3.0 dS m⁻¹ en 2012), se observa que el orden de salinidad es similar (2012 > 2010 > 2011) pero los valores absolutos de CE_{ss} son mayores, resultado lógico ya que la CE_e es una dilución de la misma debido a la adición de agua destilada al preparar la pasta saturada.

El análisis de resultados basado en los valores medios de CE_{ss} presentados en estas Tablas está sesgado por el distinto número de observaciones y extracciones en cada posición y tratamiento. Por ello, en el siguiente apartado se ha procedido a la estima de los valores de CE_{ss}. Aunque estas estimas deben tomarse con precaución dado que en algunos casos pueden tener una fiabilidad cuestionable, el análisis de los resultados en base a ellas parece más robusto que en base a los valores medidos de CE_{ss} que tienen un elevado número de valores perdidos, en particular para el año 2011 (Tablas IV.35 a 37).

IV.3.3.5.2.3. Valores estimados de CE_{ss}

El procedimiento seguido para las estimas de CE_{ss} sigue el siguiente orden:

- 1- Para cada año experimental (2010, 2011 y 2012), tratamiento de acolchado (desnudo-DES, geotextil-GEO, corteza de pino-COR y plástico-PLA), posición de muestreo (línea de árboles-LA, gotero-G y línea de goteros-LG) y profundidad de suelo (20 y 40 cm) se representan los valores medidos de CEss en los cuatro bloques experimentales frente a los días julianos acumulados y se generan las mejores curvas polinomiales de ajuste (curvas con valores de R^2 más elevados) "CEss-día juliano acumulado". Cada bloque experimental se representa con un símbolo diferente para apreciar la concordancia o discordancia entre bloques.
- 2- Procedimiento idéntico para cada año experimental, tratamiento de acolchado y posición de muestreo del conjunto de valores medidos de CEss a 20 y 40 cm de profundidad (20 + 40 cm) en los cuatro bloques. En este caso, se ha utilizado el mismo símbolo para los valores de CEss medidos en cada bloque y profundidad.
- 3- Procedimiento idéntico para cada año experimental y tratamiento de acolchado del conjunto de valores medidos de CEss en las dos posiciones de muestreo (G + LG; no se tiene en cuenta la posición LA por tener muchos valores perdidos, en particular en el año 2011) de los cuatro bloques a 20 y 40 cm de profundidad. Se ha utilizado el mismo símbolo para los valores de CEss medidos en cada posición de muestreo, bloque y profundidad.
- 4- Para cada uno de los casos anteriores se presentan en Anejos las ecuaciones de ajuste polinomial con los valores de R^2 y sus niveles de significación (***, **, *, ns). A efectos de síntesis, las ecuaciones que se presentan tienen los coeficientes simplificados, pero para las estimas de CEss (punto 5) se han utilizado las ecuaciones con los coeficientes no simplificados.
- 5- Para cada uno de los casos anteriores 1 a 3, se calculan las CEss medias aritméticas estimadas a partir de las estimas diarias de CEss obtenidas en cada día juliano acumulado entre el inicio y el final de la estación de riego utilizando las respectivas ecuaciones polinomiales. Los días julianos acumulados iniciales y finales fueron 83 y 271 en 2010, 77 y 251 en 2011 y 82 y 257 en 2012. En los casos en los que no había (o había muy pocos) valores de CEss medidos a partir de una fecha, las estimas medias se calcularon únicamente para el período con suficientes medidas de CEss. Este es el caso por ejemplo de las estimas en la línea de árboles en el año 2010, donde a partir del día 152 (1 de junio) no hubo suficientes valores medidos de CEss para el ajuste.
- 6- Comparación de valores medios de CEss medidos y estimados. Esta comparación se efectúa en Tablas en base a las diferencias entre las CEss estimadas y medidas en cada uno de los casos anteriores, así como en base a las regresiones lineales y valores de R^2 entre las CEss estimadas (Y) y medidas (X).
- 7- Tendencias de las estimas de CEss: representación gráfica a lo largo de las estaciones de riego de las curvas polinómicas generadas en cada caso anterior. Para cada tratamiento de acolchado (a) una figura con las curvas para LA-20 cm, LA-40 cm, G-20 cm, G-40 cm, LG-20 cm y LG-40 cm, y (b) una figura con las curvas para LA (20 + 40 cm), G (20 + 40 cm) y LG (20 + 40 cm). Para cada posición de sonda, una figura con las curvas de cada tratamiento. Para todas las posiciones de sonda, una figura con las curvas de cada tratamiento. Al objeto de facilitar la lectura de estas figuras, solo se han representado las curvas de ajuste polinomial sin incluir las observaciones originales.

Aunque este procedimiento puede parecer excesivamente prolijo, la complejidad de las variables analizadas y la interacción entre ellas (año experimental, tratamientos de acolchado, posición de las sondas y profundidades de muestreo) aconseja efectuar este tipo de análisis con el objetivo de obtener resultados sólidos dentro de las limitaciones existentes cuando se analizan valores estimados.

- **Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los años 2010 a 2012 para cada tratamiento de acolchado, posición de muestreo y profundidad de suelo**

Las Figuras IV.55 a 62 representan los valores medidos de CEss frente a los días julianos acumulados y las respectivas curvas polinomiales de mejor ajuste para los distintos tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo y profundidades de suelo de 20 y 40 cm. Los valores de CEss en la línea de árboles no se presentan en 2011 por su escasez de observaciones y en 2010 solo se han representado hasta el 1 de junio ya que posteriormente fallaron bastantes extracciones y no fue posible extrapolar los valores de una forma sistemática.

Estas Figuras ilustran que en algunos casos las diferencias de CEss entre bloques (repeticiones) de un mismo tratamiento, posición de muestreo y profundidad de suelo fueron muy elevadas, lo que limita la consistencia de los resultados obtenidos. Un ejemplo de estas diferencias se observa en la Figura IV.56 (año 2010) para el acolchado geotextil en la posición línea de árboles y la profundidad de suelo de 20 cm, donde los bloques 3 y 4 tuvieron unos valores de CEss relativamente parecidos, mientras que la CEss del bloque 2 fue muy superior y la del bloque 1 muy inferior a la de ellos.

Estas diferencias entre bloques de un mismo tratamiento son debidas a la variabilidad espacial del suelo y de la tasa de extracción de agua por las raíces, así como a pequeñas diferencias topográficas del terreno, pequeños encharcamientos del agua de los goteros que producen cambios en los puntos de infiltración y/o pequeñas diferencias en el caudal de los goteros que pueden producir distintas infiltraciones del agua en el suelo y, por lo tanto, distintas fracciones de lavado y distintos valores de salinidad de la solución del suelo. En líneas generales, las mayores diferencias entre bloques se obtuvieron en la línea de árboles y las menores en el gotero. Estas elevadas diferencias entre bloques en la línea de árboles conducen a que los R^2 de las curvas de ajuste no sean significativos en ciertos casos. Asimismo, en algunas ocasiones no se obtuvieron extracciones de la solución del suelo en determinados bloques, lo que limita seriamente la comparación de resultados. Por ejemplo, en la línea de goteros a 20 cm de profundidad del acolchado plástico de los años 2010 y 2011, y en la línea de goteros a 40 cm de profundidad del acolchado de corteza de pino del año 2011 solo se obtuvieron extracciones en dos bloques (Figuras IV.58, 61 y 62, respectivamente)

En el año 2010 (Figuras IV.55 a 58) los valores diferentes de CEss entre bloques en la línea de árboles produjeron curvas de ajuste variables y poco fiables. En el gotero, las curvas fueron bastante paralelas al eje X (es decir, valores de CEss parecidos a lo largo de la estación de riego), mientras que en la línea de goteros la forma de las curvas fue parecida en todos los tratamientos: ligero descenso inicial, tendencia a incrementos de CEss hasta finales de agosto y descenso final en septiembre (excepto en la corteza a 20 cm) probablemente debido a la lluvia de 40 mm recogida en dicho mes.

En el año 2011 (Figuras IV.59 a 62) los valores de CEss fueron relativamente constantes en el acolchado plástico, mientras que en el resto de tratamientos las tendencias implicaron incrementos de CEss a lo largo de la estación de riego, con algunos descensos finales aparentes en ciertos casos debido al grado de las ecuaciones de ajuste.

En el año 2012 (Figuras IV.63 a 66) las tendencias de CEss fueron decrecientes en bastantes casos debido a que los valores iniciales de CEss eran en general altos, excepto en el gotero donde estos valores iniciales eran bajos y las tendencias fueron en general crecientes, en particular a la profundidad de suelo de 40 cm.

Las ecuaciones polinomiales simplificadas y sus coeficientes de determinación (R^2) junto con su nivel de significación (obtenidos con el programa Statgraphics Plus 5.0) se presentan en los Anejos 4, 7 y 10 para los años 2010, 2011 y 2012, respectivamente.

La mayor parte de las mejores ecuaciones de ajuste son de grado 6, 5 y 4. Respecto a los valores de R^2 , todos ellos fueron significativos ($P < 0.05$) en el año 2011, pero en los años 2010 y 2012 hubo 8 y 13 valores de R^2 (sobre un total de 20) no significativos ($P > 0.05$). La mayor parte de estos valores no significativos se debe a que las observaciones fueron muy constantes en el tiempo. Es decir, las medias de estas observaciones para los períodos analizados tuvieron unos errores estándar relativamente bajos. Estos casos indicarían que la salinidad de la solución del suelo fue independiente del tiempo y muy parecida a lo largo del período de estudio, por lo que no existieron tendencias evidentes de salinización o lavado.

Un ejemplo de esta circunstancia sería el acolchado geotextil en la posición gotero a 20 cm de profundidad del suelo para el año 2010 (Figura IV.56), donde la ecuación polinomial tiene un R^2 de 0.07, no significativo a $P > 0.05$ (Anejo 4). Sin embargo, todas las observaciones de este tratamiento a lo largo del período estudiado son coincidentes en los cuatro bloques alrededor de un valor medio de 1.78 dS/m, mediana de 1.63 dS/m, moda de 1.61 dS/m y error estándar de 0.52 dS/m.

Asimismo, el hecho de que en el año 2012 la CEss se midiera quincenalmente en lugar de semanalmente puede ser una razón de que haya un mayor número de valores de R^2 no significativos debido al menor número de grados de libertad, aunque las diferencias entre bloques de un mismo tratamiento fueron elevadas en algunos casos (Figuras IV.63 a 66).

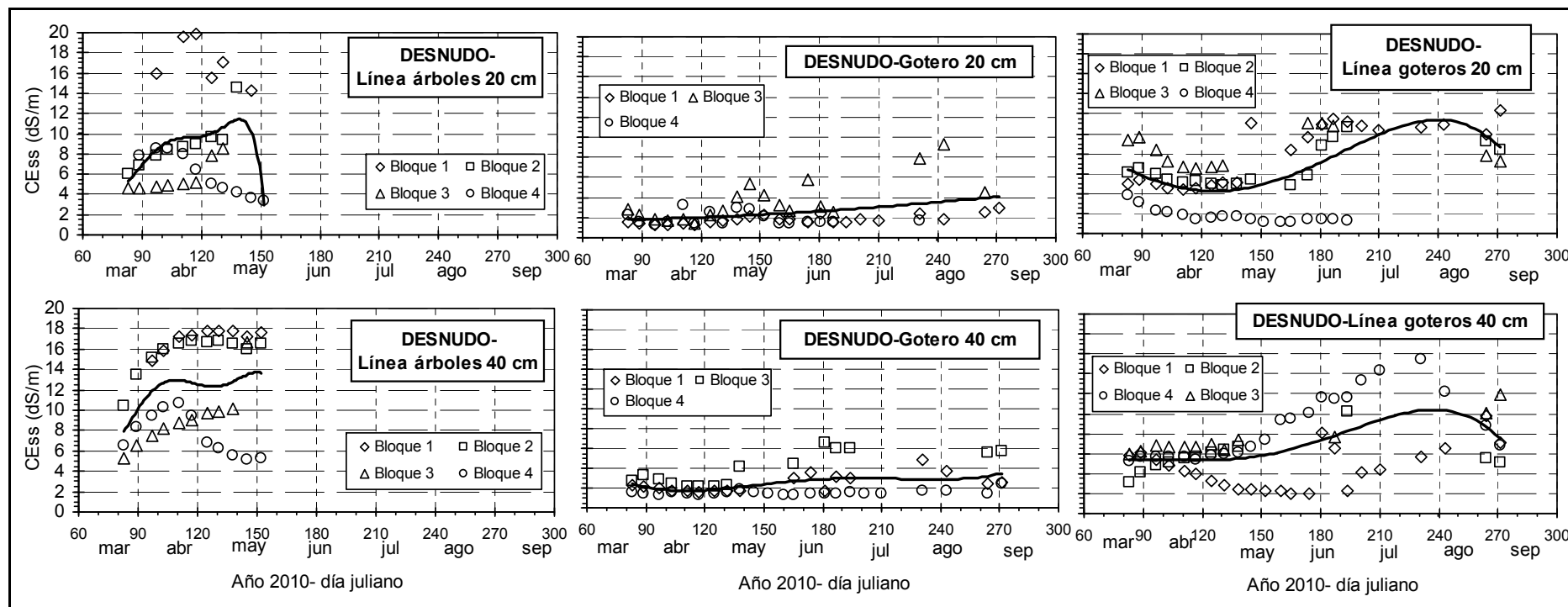


Figura IV.55. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento de suelo desnudo para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEss).

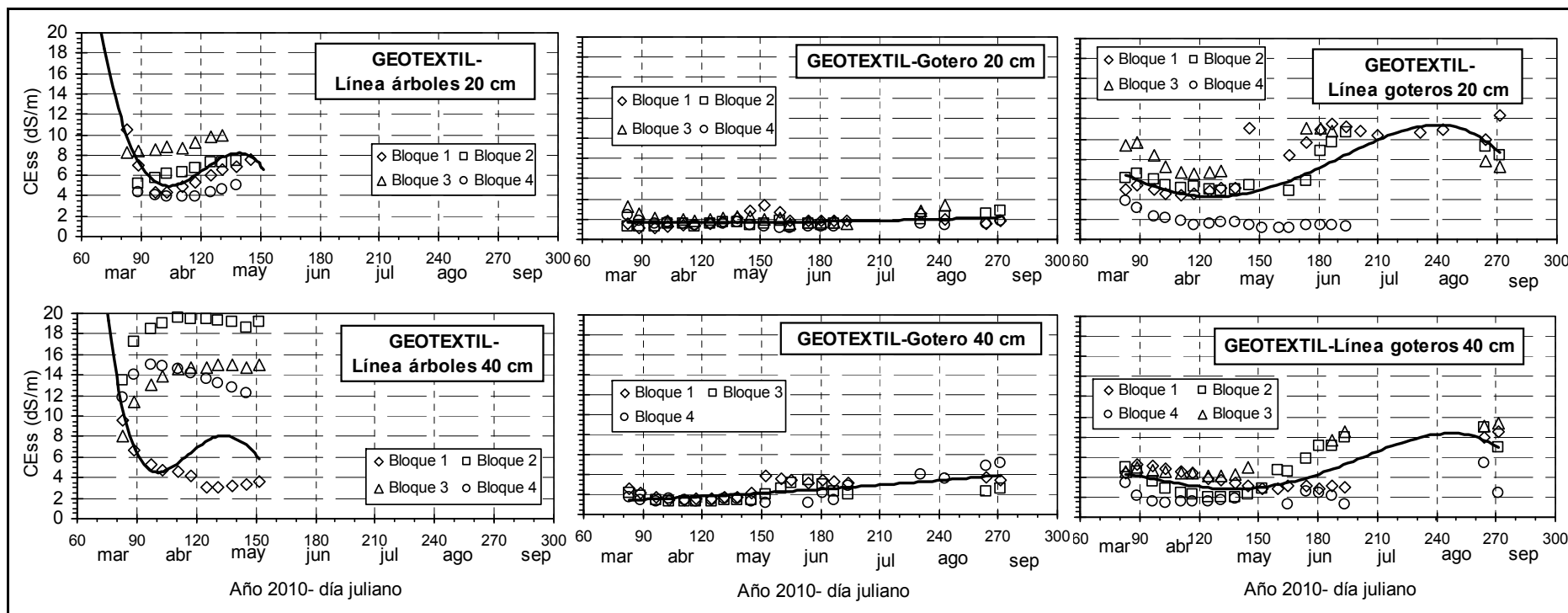


Figura IV.56. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEs en los cuatro bloques del tratamiento de acolchado geotextil para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEs).

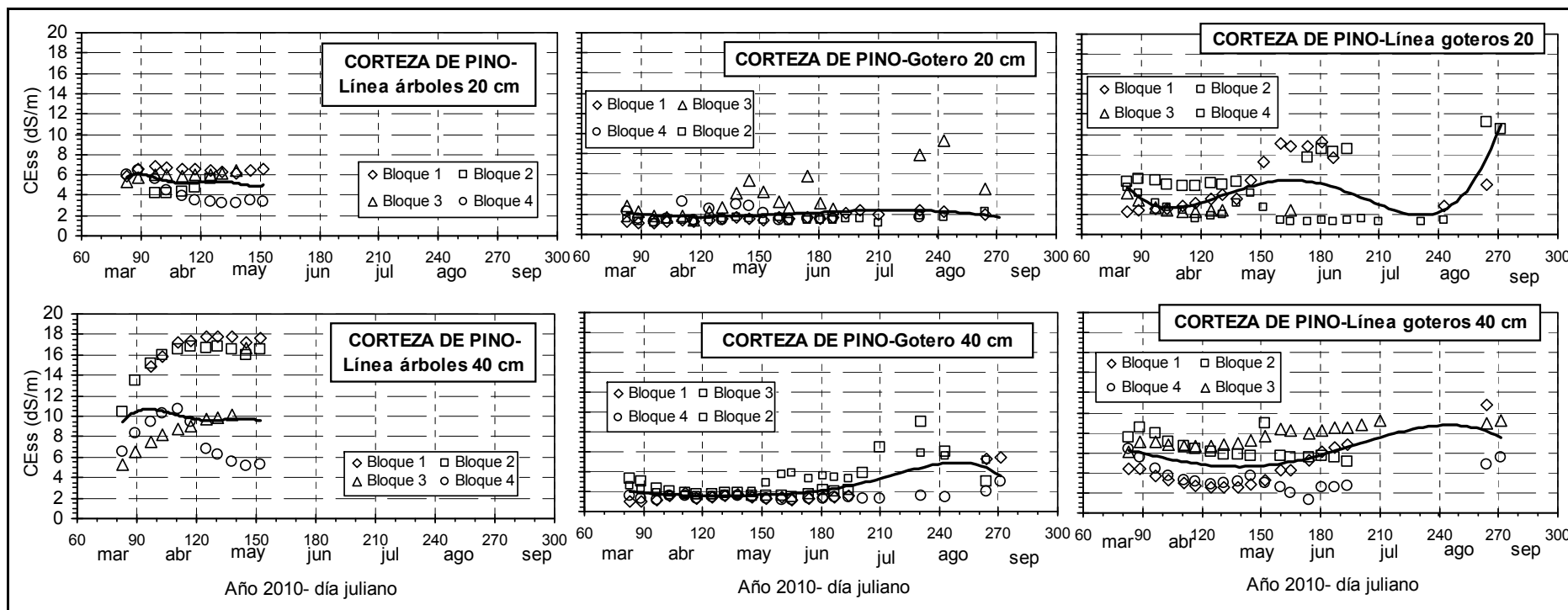


Figura IV.57. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEs en los cuatro bloques del tratamiento de acolchado corteza de pino para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEs).

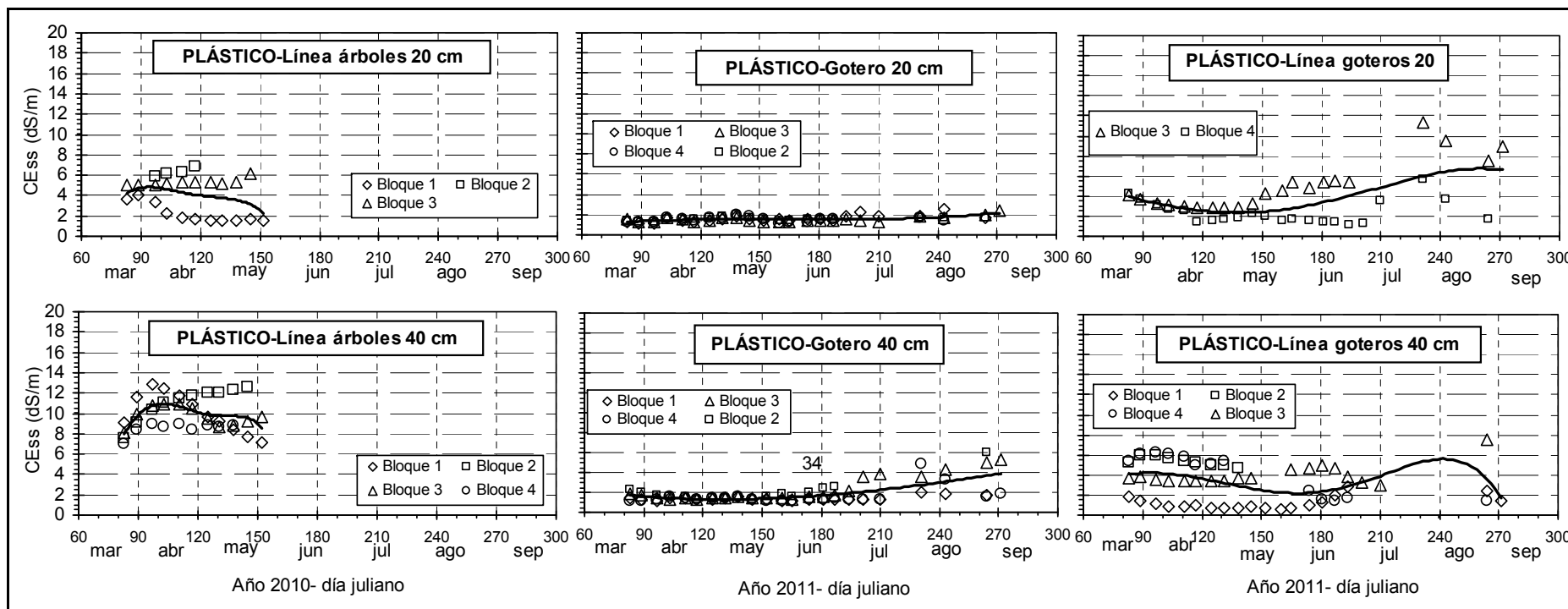


Figura IV.58. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento de acolchado corteza de pino para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEss).

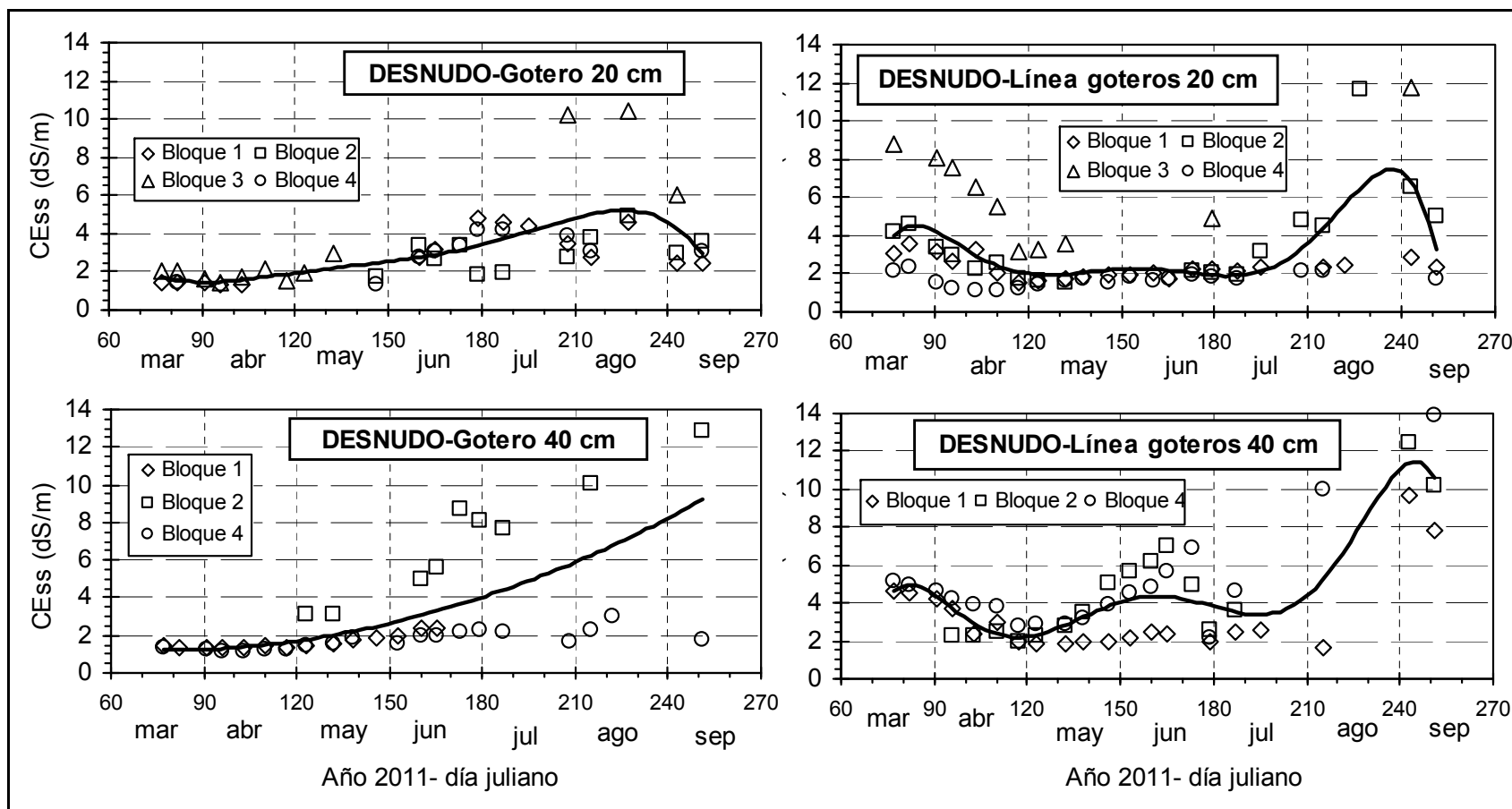


Figura IV.59. Año 2011. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento de suelo desnudo para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEss.

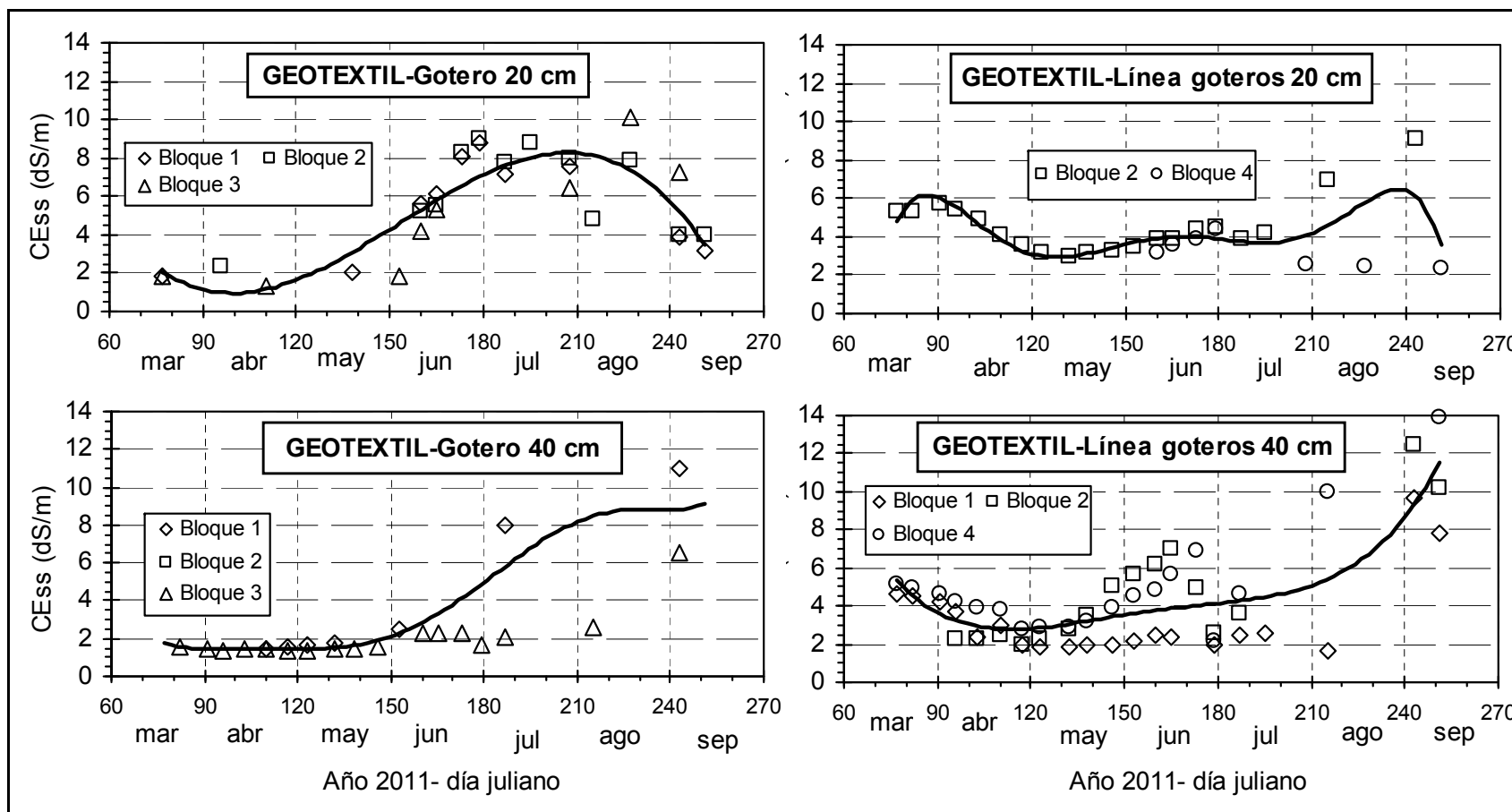


Figura IV.60. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEs en los cuatro bloques del tratamiento de acolchado geotextil para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEs.

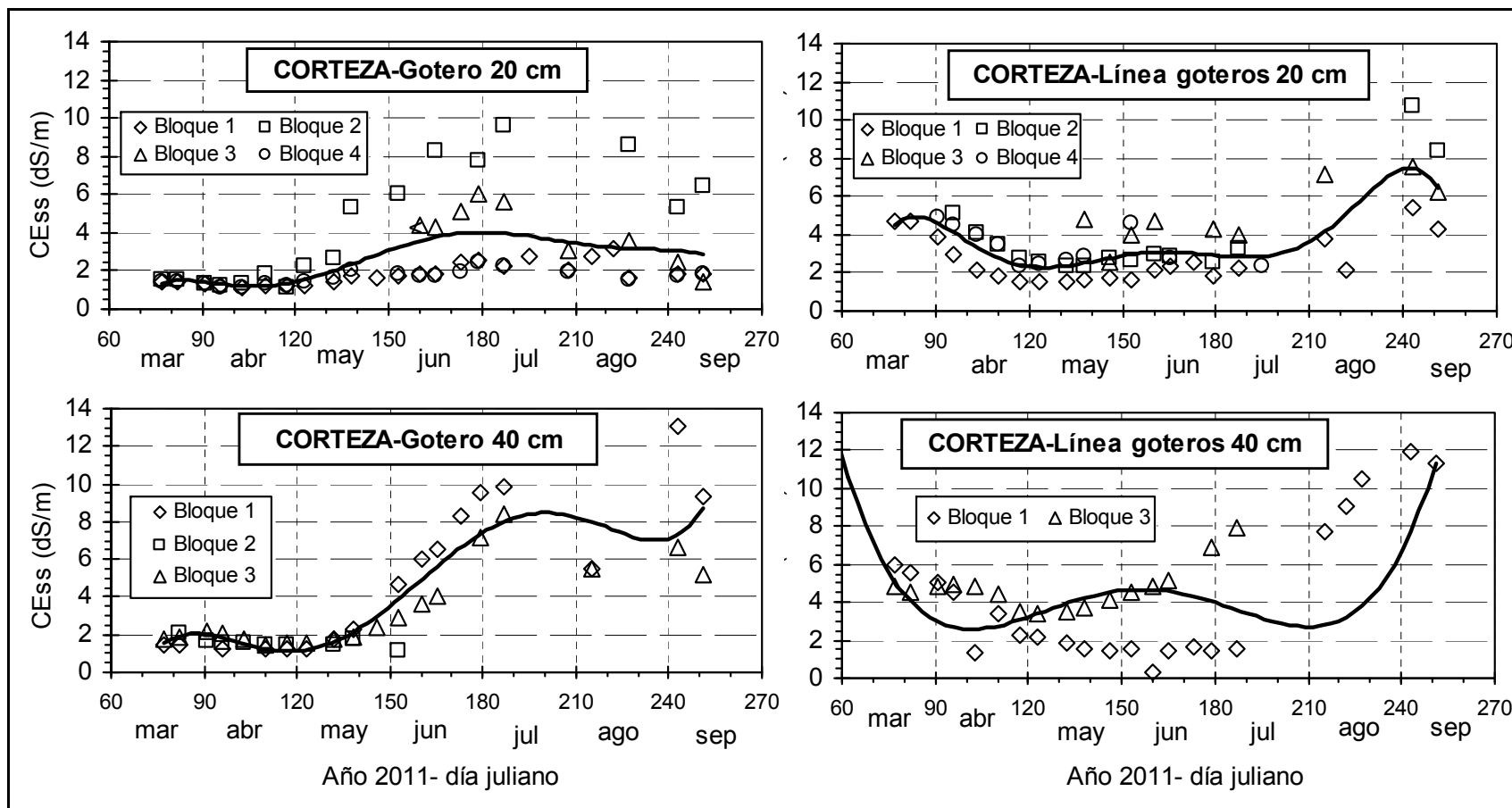


Figura IV.61. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento de acolchado corteza de pino para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEss.

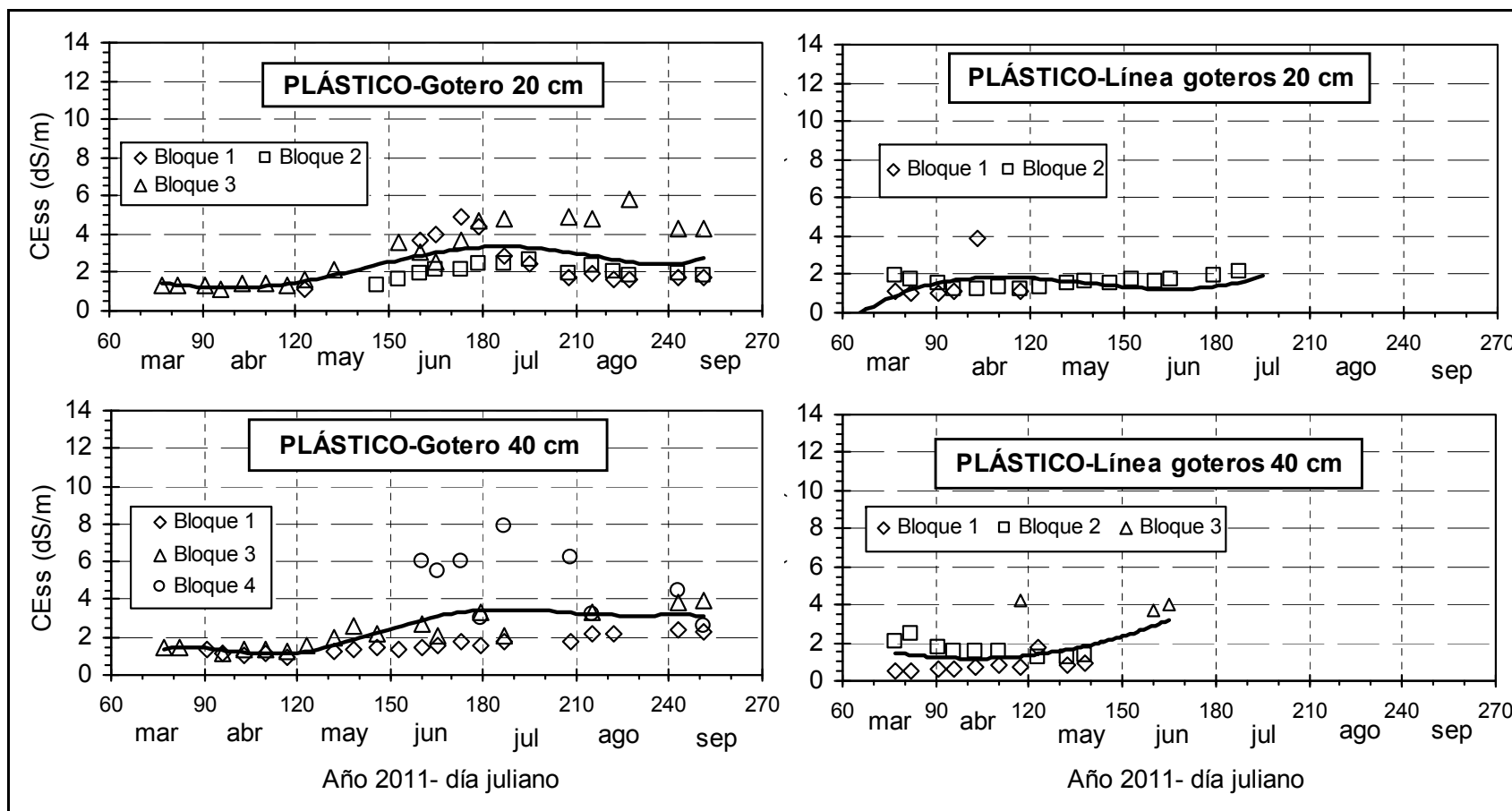


Figura IV.62. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento de acolchado plástico para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEss. En la posición línea de goteros se dejó de extraer solución a partir de los días 190 (a 20 cm) y 170 (a 40 cm).

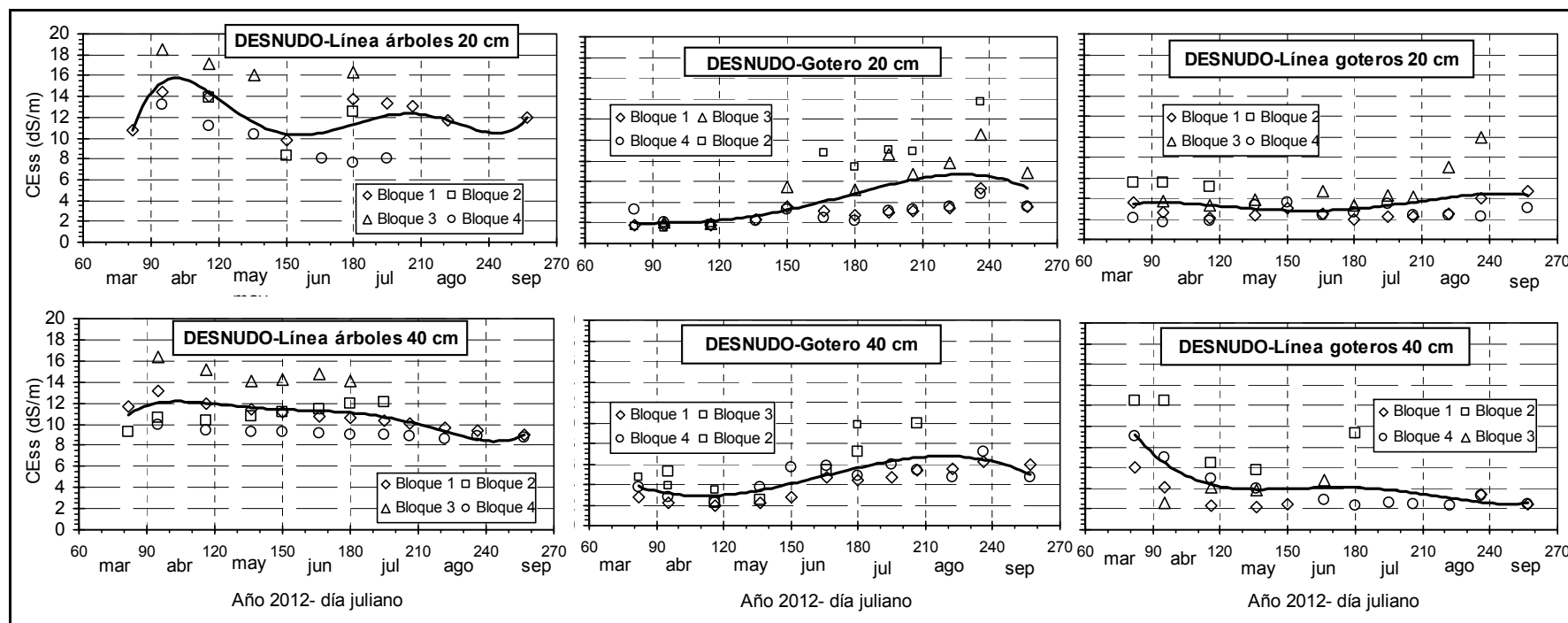


Figura IV.63. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEs en los cuatro bloques del tratamiento de suelo desnudo para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.

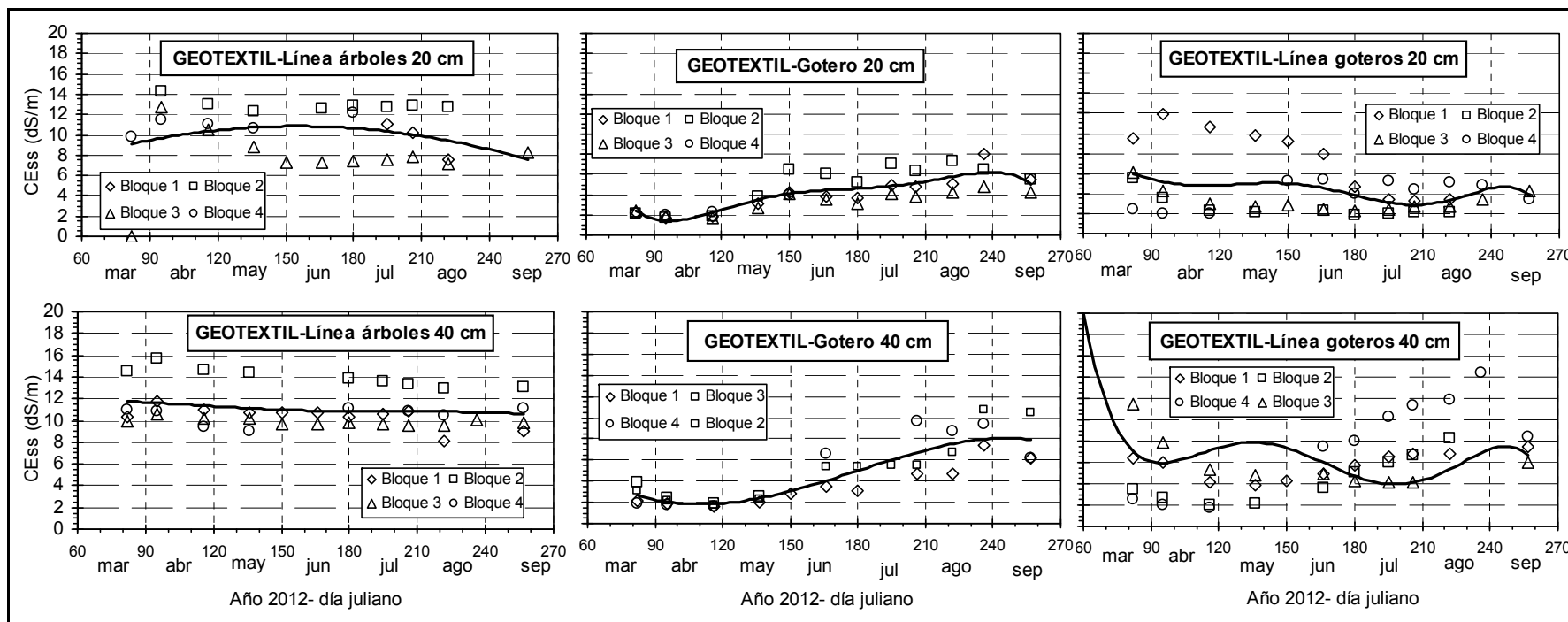


Figura IV.64. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento geotextil para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.

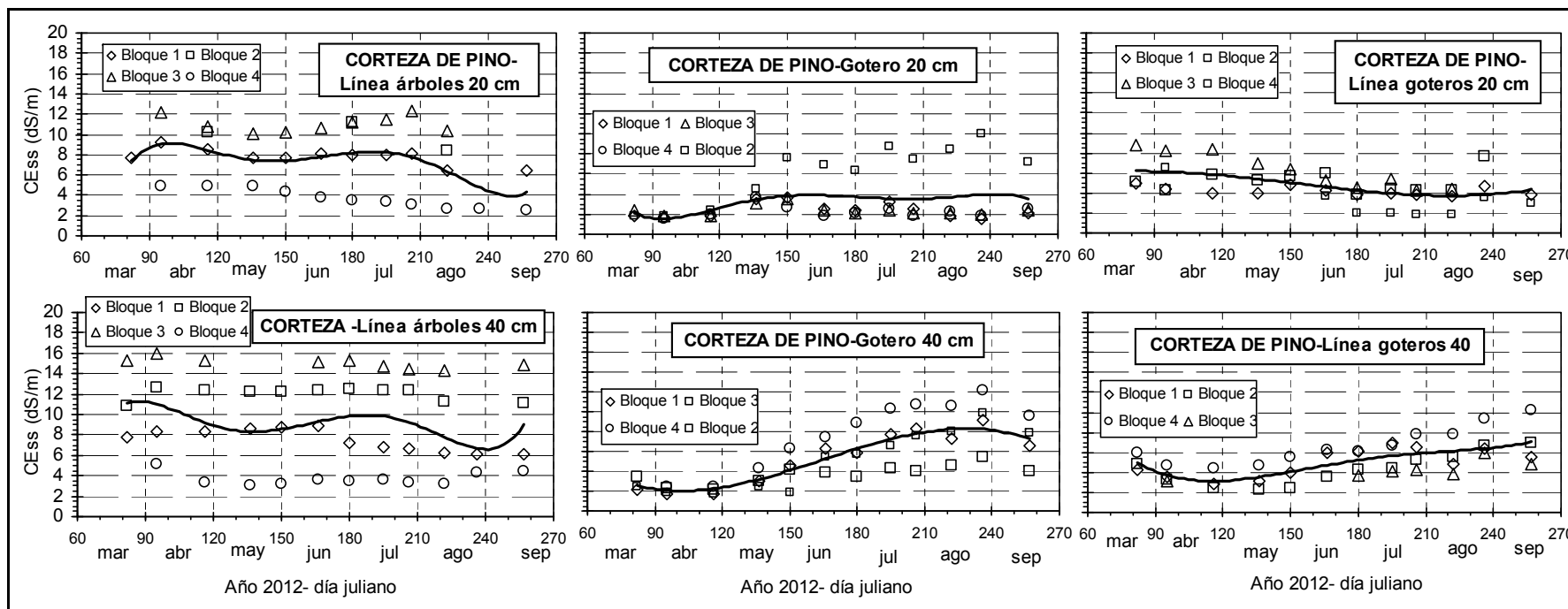


Figura IV.65. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en los cuatro bloques del tratamiento corteza de pino para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.

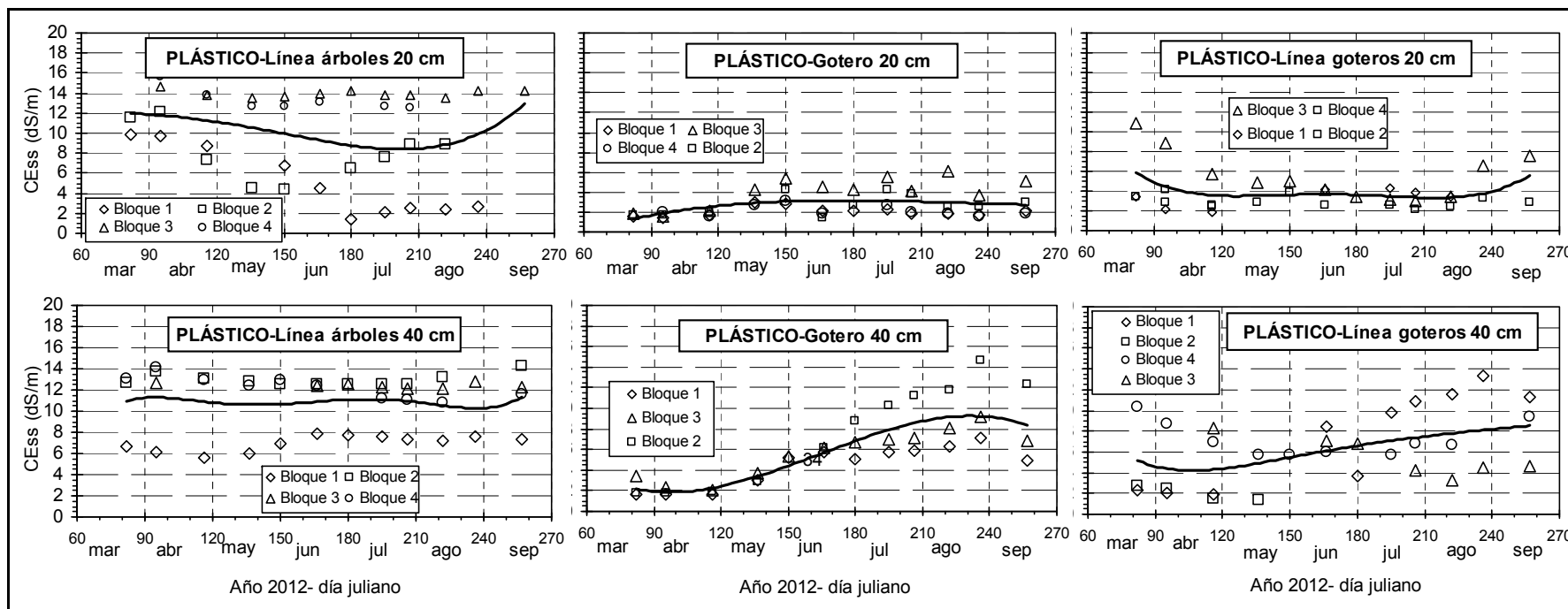


Figura IV.66. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEs en los cuatro bloques del tratamiento plástico para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) y profundidades de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.

Con el objetivo de facilitar la comparación visual de la evolución de las estimas de CE_{ss}, se han representado las curvas polinómicas de ajuste eliminando las observaciones. Las Figuras IV.67 a 69 comparan los resultados entre tratamientos de acolchado, y las Figuras IV.70 a 72 entre posiciones de muestreo. Los resultados obtenidos difieren entre años, tratamientos, posiciones y profundidades, por lo que es difícil establecer generalizaciones.

En el año 2010, se observa que en todos los tratamientos de acolchado la CE_{ss} fue mínima en el gotero (G), intermedia en la línea de goteros (LG) y máxima en la línea de árboles (LA). Para una posición de muestreo dada, los valores de CE_{ss} fueron en general iguales o inferiores a 20 cm que a 40 cm de profundidad, excepto en la línea de goteros del acolchado geotextil (en todo el período estudiado) y en la línea de goteros del acolchado plástico (a partir de junio), donde la CE_{ss} a 20 cm fue mayor que a 40 cm.

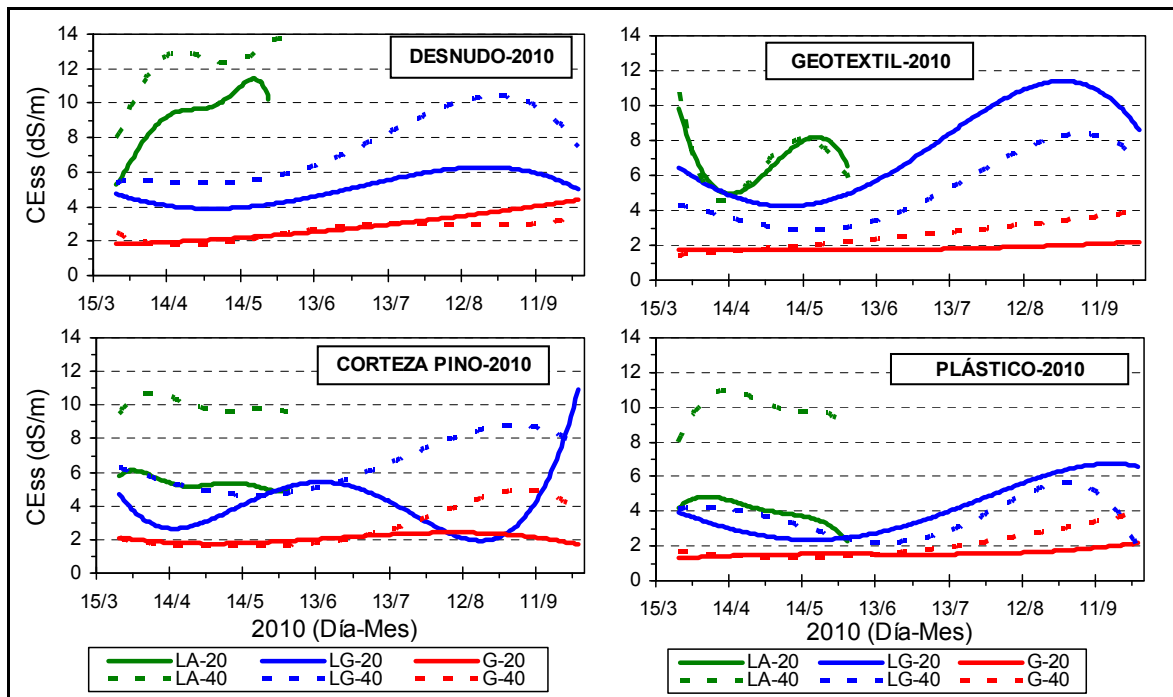


Figura IV.67. Año 2010. Tratamientos de acolchado del suelo: Evolución de la CE_{ss} estimada en cada posición de muestreo (LA = línea de árboles, LG = línea de goteros, G = gotero) y profundidad de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego.

En el año 2011, la CE_{ss} varió considerablemente entre posiciones y profundidades, excepto en el acolchado plástico donde la CE_{ss} varió poco a lo largo del período de estudio. En el año 2012, la CE_{ss} fue en general alta en la posición línea de árboles tanto a 20 como a 40 cm. Para el suelo desnudo y el geotextil, la CE_{ss} fue más baja en la posición gotero a 20 y 40 cm de profundidad que en la posición línea de goteros hasta finales de mayo, y fue al revés a partir de principios de junio y hasta el final de la estación de riego.

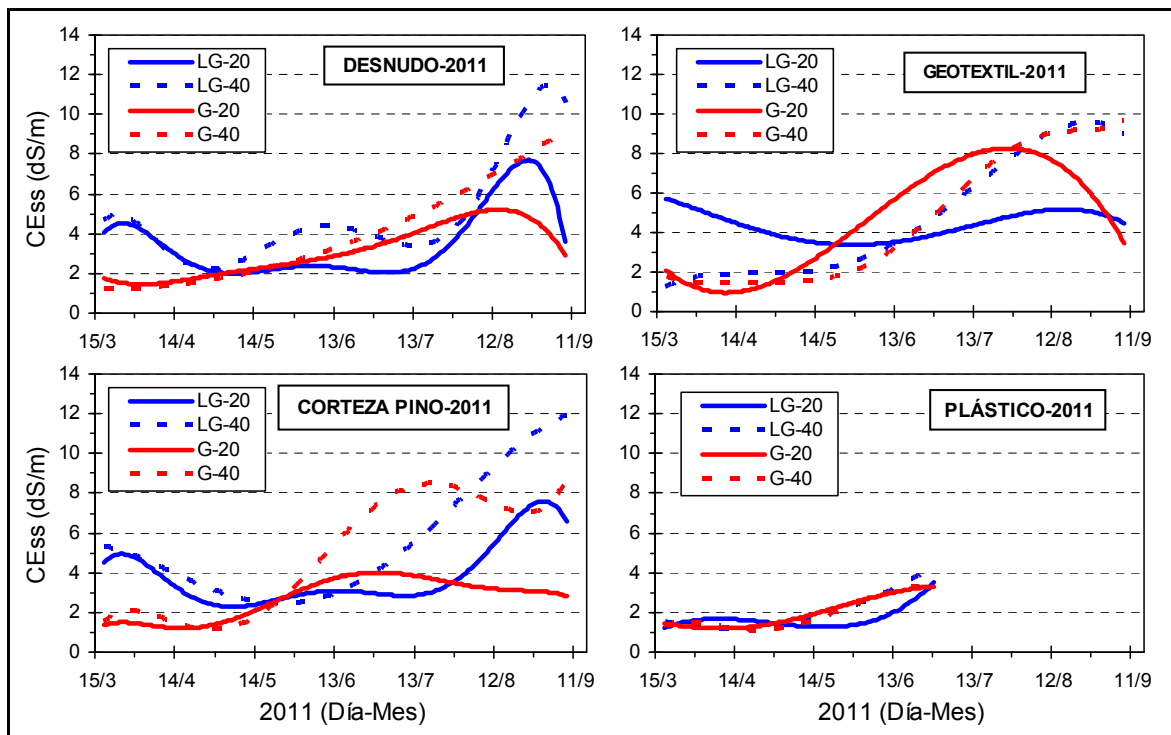


Figura IV.68. Año 2011. Tratamientos de acolchado del suelo: Evolución de la CEss estimada en cada posición de muestreo (LG = línea de goteros, G = gotero) y profundidad de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego.

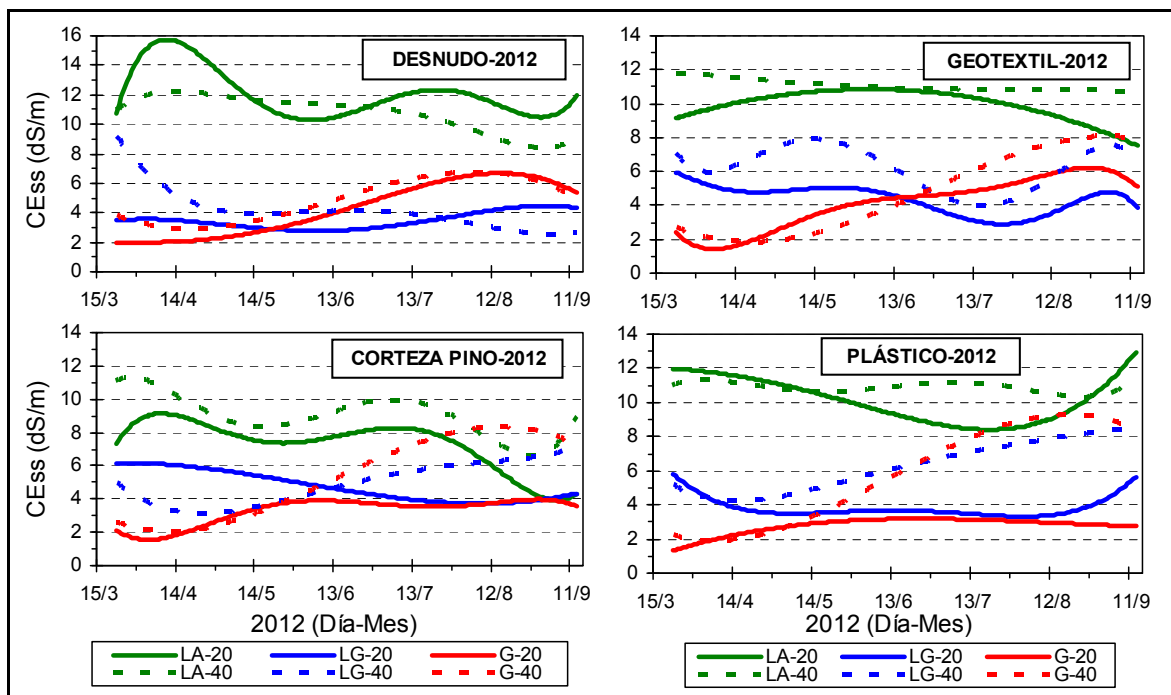


Figura IV.69. Año 2012. Tratamientos de acolchado del suelo: Evolución de la CEss estimada en cada posición de muestreo (LA = línea de árboles, LG = línea de goteros, G = gotero) y profundidad de suelo (20 y 40 cm) a lo largo de la estación de riego.

La Figura IV.70 muestra que en 2010 el suelo desnudo alcanzó en la posición LA-20 la mayor CEss, seguido por el geotextil, la corteza de pino y el plástico. En LA-40, LG-40 y G-20 el suelo desnudo fue asimismo el de mayores valores de CEss. El resto de tratamientos tuvieron comportamientos diferentes según las posiciones de muestreo y profundidades.

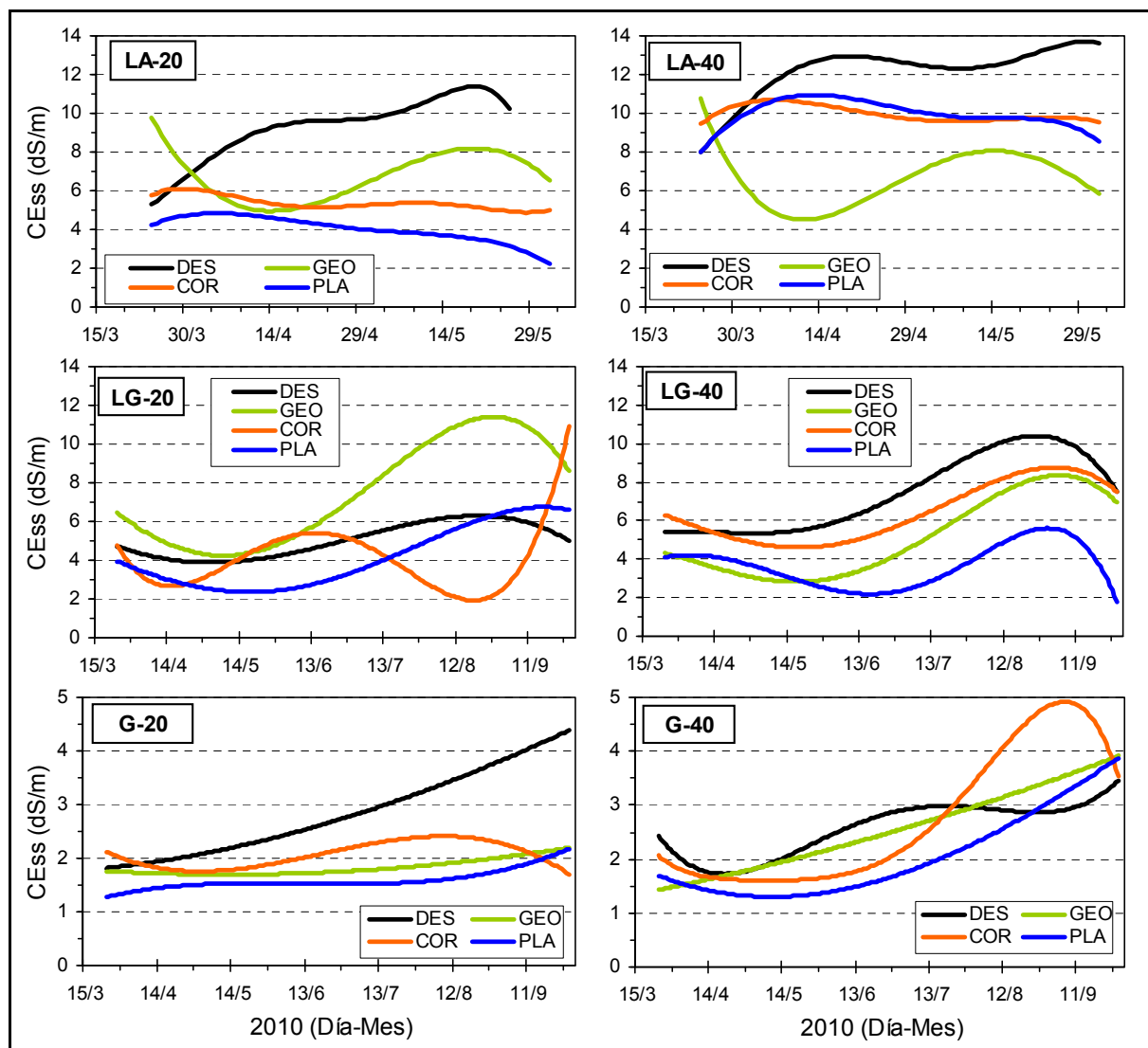


Figura IV.70. Año 2010. Posiciones de muestreo (LA = línea de árboles, LG = línea de goteros, G = gotero): Evolución de la CEss estimada en cada tratamiento de acolchado a 20 y 40 cm de profundidad de suelo a lo largo de la estación de riego.

En el año 2011, los cuatro acolchados tuvieron un comportamiento bastante parecido, excepto el suelo desnudo en G-20, que mantuvo un valor mayor de CEss que el resto de tratamientos de acolchado entre mediados de mayo y mediados de agosto, y el plástico en G-40 que permaneció constante a partir de mediados de junio en torno a un valor de 3 dS/m. En general, la CEss aumentó más a 40 que a 20 cm de profundidad (Figura IV.71).

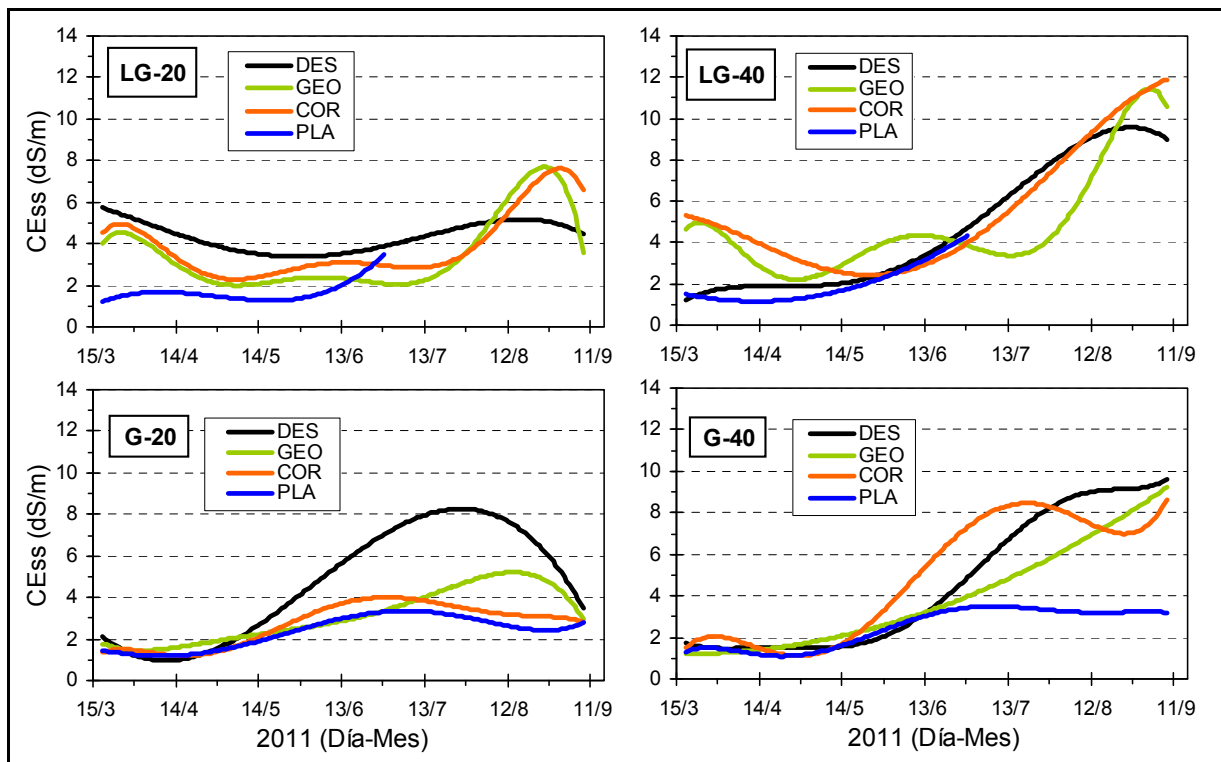


Figura IV.71. Año 2011. Posiciones de muestreo (LG = línea de goteros, G = gotero): Evolución de la CEss estimada en cada tratamiento de acolchado a 20 y 40 cm de profundidad de suelo a lo largo de la estación de riego.

En el año 2012, el comportamiento de la CEss en los distintos acolchados de suelo fue bastante similar en LA-40, LG-20 y G-40 (Figura IV.72). Los valores en LA fueron elevados (superiores en general a 8 dS/m) y con tendencia a decrecer en el tiempo, en particular en la corteza de pino en la posición LA-20, donde la CEss final descendió hasta valores próximos a 4 dS/m. Por el contrario, la CEss en la posición G tendió a crecer con el tiempo, en particular a 40 cm de profundidad donde aumentó desde valores iniciales de en torno a 2-4 dS/m hasta valores finales de en torno a 6-9 dS/m a principios de septiembre.

Tal como se ha comentado anteriormente, los resultados obtenidos a las dos profundidades de suelo arrojaron valores muy dispares y poco generalizables. Por ello, en el siguiente análisis se han establecido las tendencias del conjunto de observaciones a ambas profundidades con el objetivo de apreciar si las mismas son más generalizables y consistentes en base a medidas de la salinidad del perfil del suelo (20+40 cm).

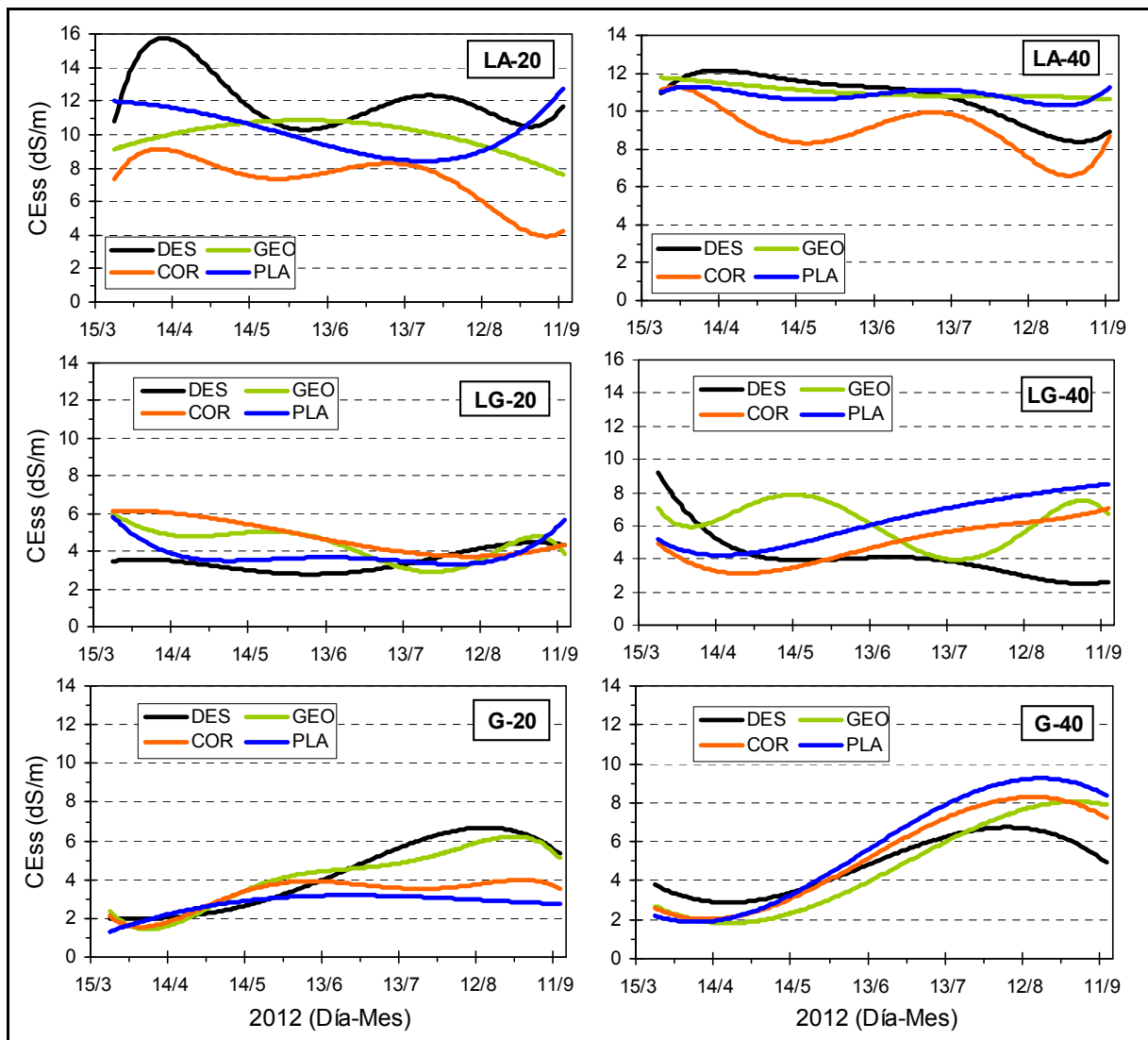


Figura IV.72. Año 2012. Posiciones de muestreo (LG = línea de goteros, G = gotero): Evolución de la CEss estimada en cada tratamiento de acolchado a 20 y 40 cm de profundidad de suelo a lo largo de la estación de riego.

- **Curvas polinomiales de ajuste del conjunto de valores medidos de CEss a 20 y 40 cm de profundidad de suelo en los años 2010 a 2012 para cada tratamiento de acolchado y posición de muestreo**

Las Figuras IV.73 a 84 presentan para cada año, tratamiento de acolchado y posición de muestreo las curvas polinomiales de ajuste de los valores de CEss medidos a las dos profundidades de suelo.

Las ecuaciones de ajuste presentadas en estas figuras se detallan en los Anejos 5, 8 y 11 para los años 2010, 2011 y 2012, respectivamente. Los valores de R^2 de estas ecuaciones fueron significativos ($P < 0.05$) en 9 de las 12 ecuaciones en 2010, 7 de las 8 ecuaciones en 2011 y 6 de las 12 ecuaciones en 2012. La falta de significación de algunas ecuaciones se debe a que la CEss es muy constante en el tiempo, mientras que en otros casos es debida a la elevada dispersión de las observaciones.

En el año 2010, (Figuras IV.73 a 76), las curvas de ajuste para la posición LA son muy poco fiables debido a la elevada dispersión de las observaciones para la misma fecha de muestreo (entre 2 y 20 dS/m en algún tratamiento). En la posición LG la dispersión fue también bastante elevada, mientras que en la posición G las observaciones fueron bastante

coincidentes. En el año 2011, (Figuras IV.77 a 80), las observaciones fueron en general muy coincidentes al principio de la estación de riego, pero posteriormente aumentó la dispersión hasta hacerse elevada al final de la estación de riego. En el año 2012, (Figuras IV.81 a 84), la dispersión de las observaciones fue elevada en LA y en el acolchado plástico, y más baja en el resto de tratamientos de acolchado y posiciones de muestreo.

Con el objetivo de facilitar la comparación visual de la evolución de las estimas de CEss, se han representado las curvas polinómicas de ajuste eliminando las observaciones. Las Figuras IV.85 a 87 comparan los resultados entre tratamientos de acolchado, y las Figuras IV.88 a 90 entre posiciones de muestreo.

En relación a los tratamientos de acolchado, la Figura IV.85, (año 2010), muestra que la corteza de pino y el plástico fueron en general los de menores valores de CEss, mientras que el geotextil tuvo la mayor tendencia creciente en LA y LG. En 2011, (Figura IV.86, el acolchado plástico tuvo valores muy estables de CEss, inferiores a 4 dS/m de mitad de marzo a finales de junio. En el resto de acolchados la CEss tuvo tendencias positivas alcanzando en general los valores máximos a finales de agosto. En 2012, (Figura IV.87), los cuatro acolchados tuvieron unas tendencias decrecientes en los valores de CEss estimados en LA, que fueron muy elevados (10-12 dS/m) al inicio de la estación de riego. Los cuatro acolchados tuvieron unas tendencias de salinización mayores en G que en LG, resultado que contrasta con el obtenido en otros años.

En relación a las posiciones de muestreo, la Figura IV.88 muestra que en el año 2010 la CEss en la posición LA mostró unas tendencias estables o decrecientes en todos los acolchados excepto el geotextil, donde la tendencia fue positiva a partir de mediados de mayo. La falta de observaciones suficientes en LA a partir de junio impidió establecer sus tendencias posteriores. En LG los acolchados mostraron tendencias poco claras, cruzándose las curvas entre ellos y con descensos a partir de septiembre excepto en la corteza de pino. En G los cuatro acolchados tuvieron tendencias de CEss positivas bastante similares, aunque los incrementos fueron pequeños y con valores finales inferiores a 3.5 dS/m en todos ellos. Los valores más bajos de CEss se obtuvieron en el acolchado plástico y los más elevados en el suelo desnudo.

En el año 2011, (Figura IV.89), la CEss estimada en LG fue creciente en el tiempo y bastante similar en los cuatro acolchados, aunque con valores inferiores en el geotextil desde finales de junio. La CEss final en esta posición fue alta (7 dS/m) y similar en los cuatro acolchados. La CEss en G fue la misma en los cuatro acolchados hasta finales de junio, momento a partir del cual la CEss del suelo desnudo aumentó más que en el resto de tratamientos. La CEss final en esta posición fue inferior a 6 dS/m en todos los acolchados.

En el año 2012, (Figura IV.90), la CEss inicial en LA fue muy elevada en los cuatro acolchados (valores superiores a 10 dS/m) y con una tendencia estable o negativa. Por el contrario, las tendencias en LG y G fueron positivas en todos los acolchados excepto el suelo desnudo en LG. En la posición G los cuatro acolchados disminuyeron la CEss en abril por debajo de 2 dS/m, para aumentar de forma similar posteriormente a este mes hasta alcanzar valores de en torno a 6 dS/m al final de la estación de riego.

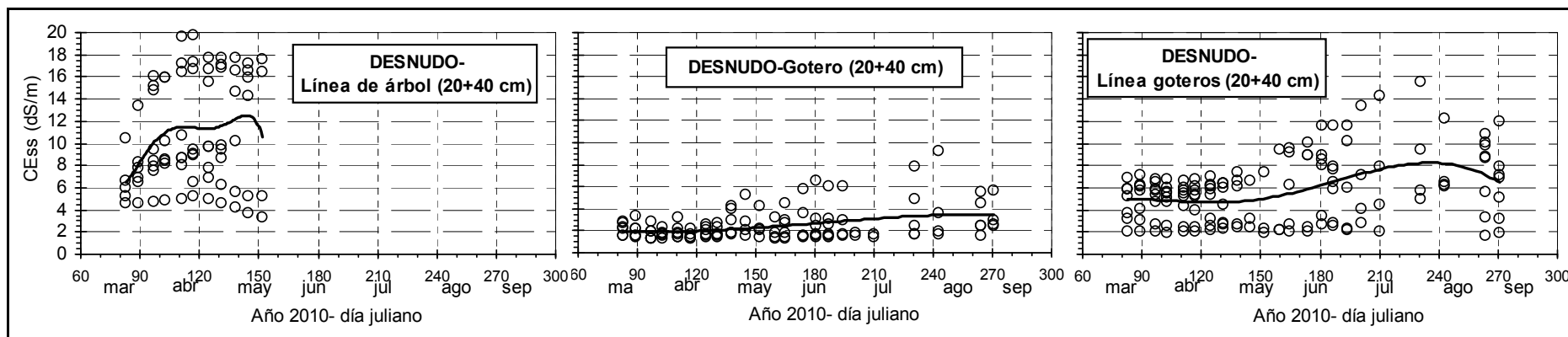


Figura IV.73. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEs en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento suelo desnudo para las distintas posiciones de muestreo a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEs).

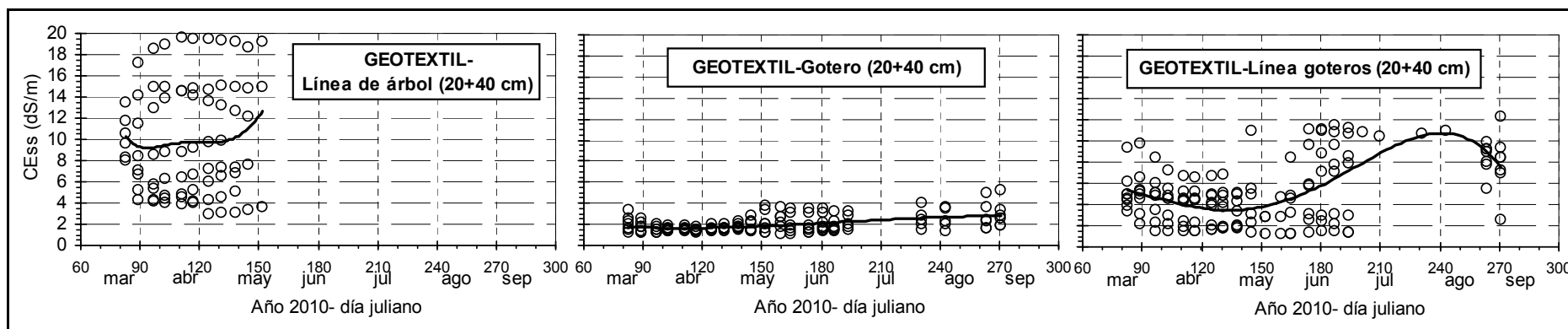


Figura IV.74. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEs en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento geotextil para las distintas posiciones de muestreo a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEs).

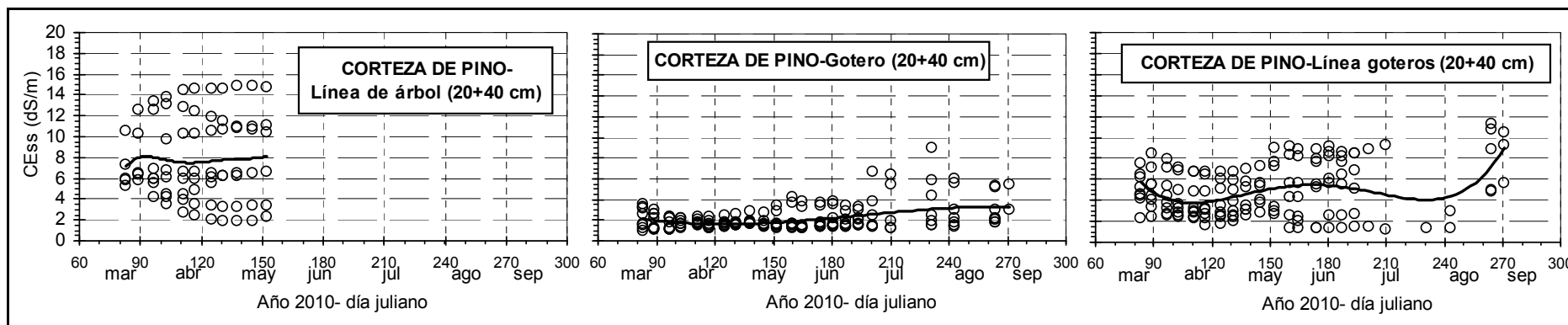


Figura IV.75. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento corteza de pino para las distintas posiciones de muestreo a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEss).

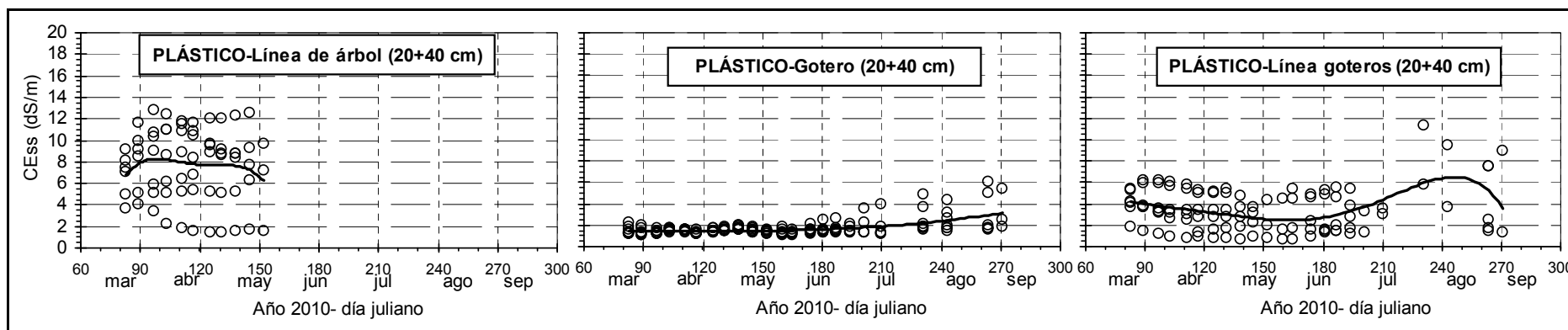


Figura IV.76. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento plástico para las distintas posiciones de muestreo a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 83 a 271 (excepto en la Línea de árboles donde el día 152 fue el último con medidas frecuentes de CEss).

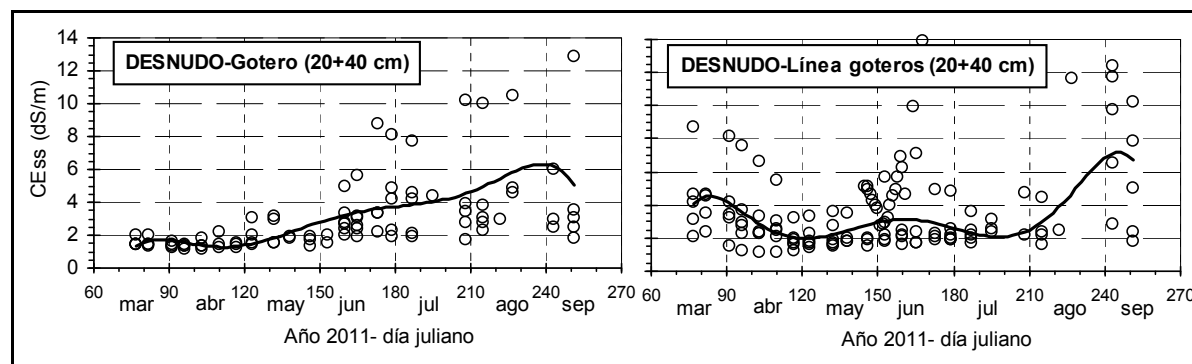


Figura IV.77. Año 2011. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento geotextil para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEss.

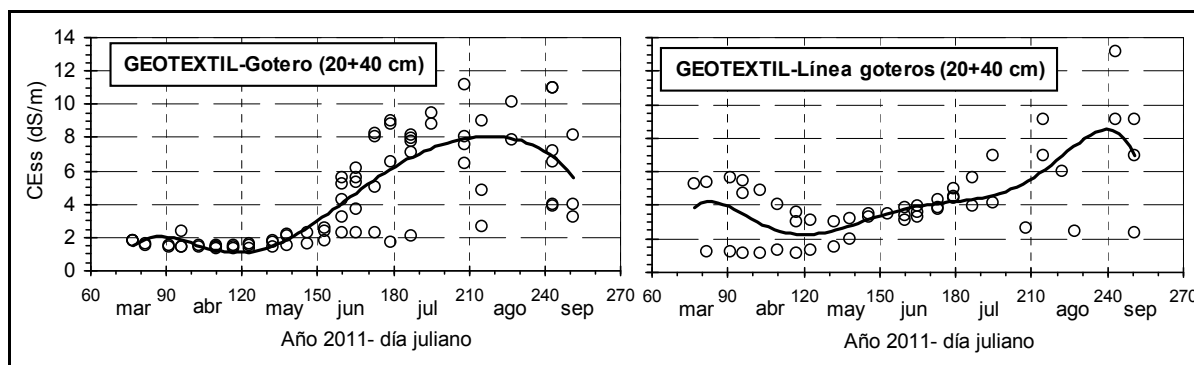


Figura IV.78. Año 2011. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento geotextil para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEss.

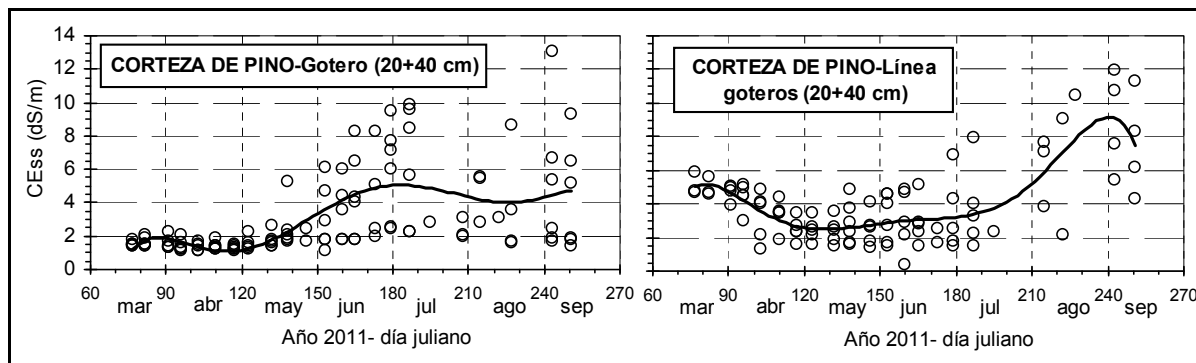


Figura IV.79. Año 2011. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento corteza de pino para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEss.

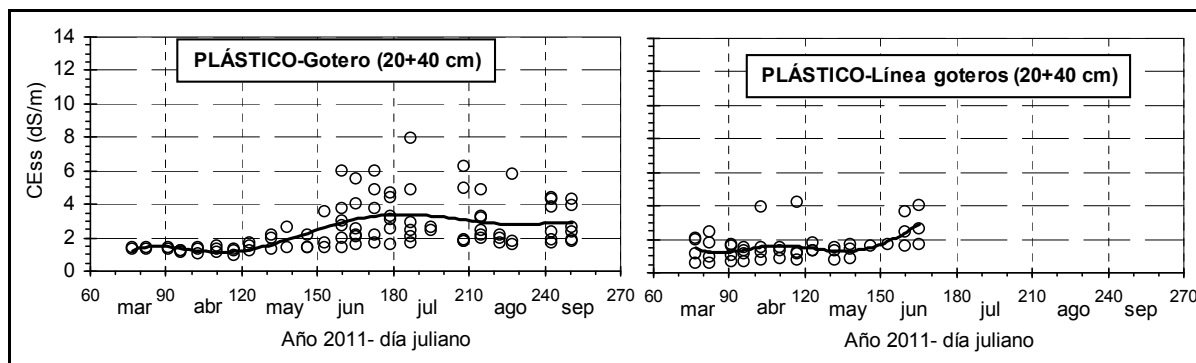


Figura IV.80. Año 2011. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento plástico para las distintas posiciones de muestreo (Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 77 a 251. La posición Línea de árboles no se presenta por tener un número insuficiente de valores medidos de CEss.

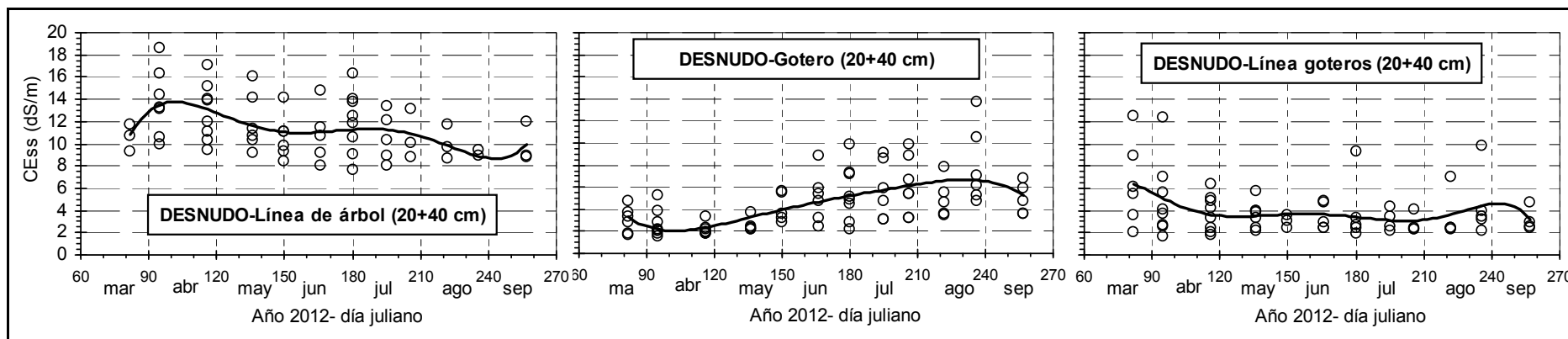


Figura IV.81. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEs en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento de suelo desnudo para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.

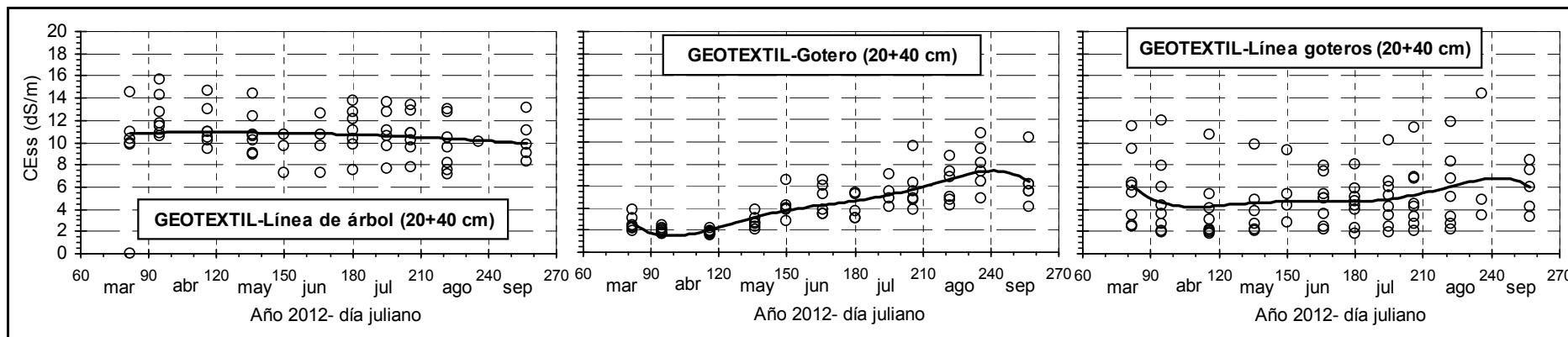


Figura IV.82. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEs en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento geotextil para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.

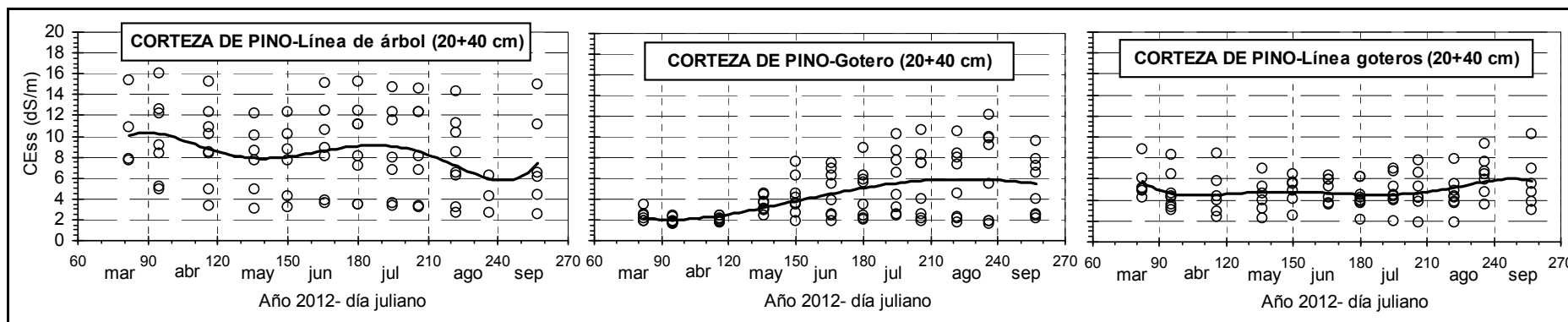


Figura IV.83. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento corteza de pino para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.

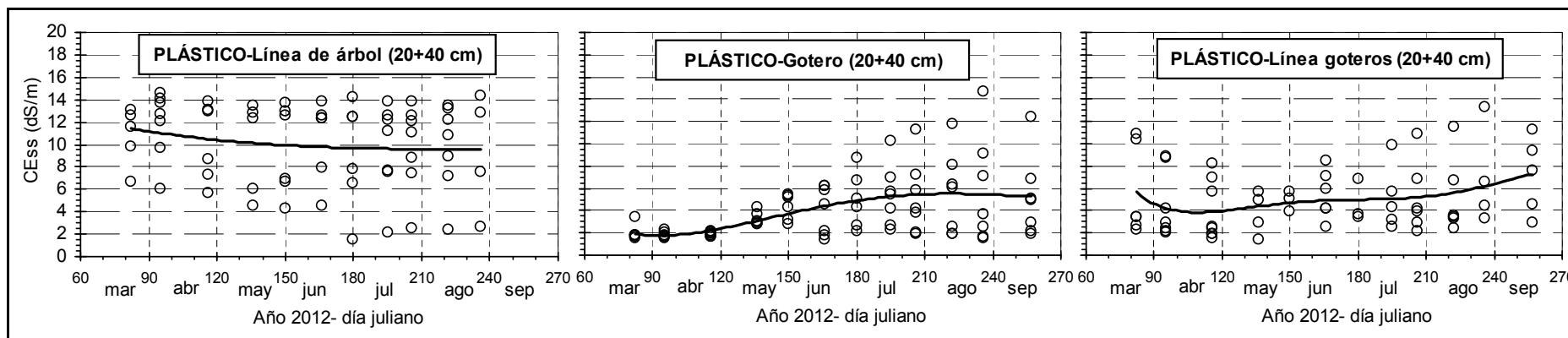


Figura IV.84. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de los valores medidos de CEss en las dos profundidades y cuatro bloques del tratamiento plástico para las distintas posiciones de muestreo (Línea de árboles, Gotero y Línea de goteros) a lo largo de la estación de riego frente a los días julianos acumulados 82 a 257.

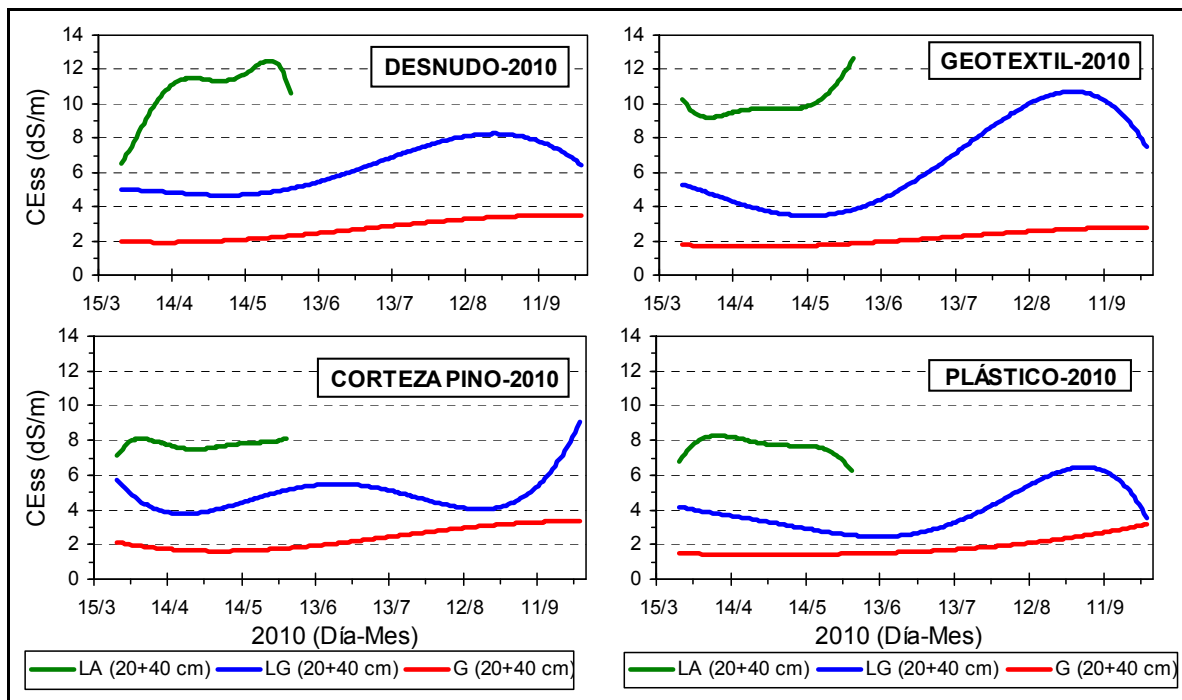


Figura IV.85. Año 2010. Tratamientos de acolchado del suelo: Evolución de la CEss estimada en cada posición de muestreo (LA = línea de árboles, LG = línea de goteros, G = gotero) a lo largo de la estación de riego para el conjunto de observaciones a 20 y 40 cm de profundidad de suelo.

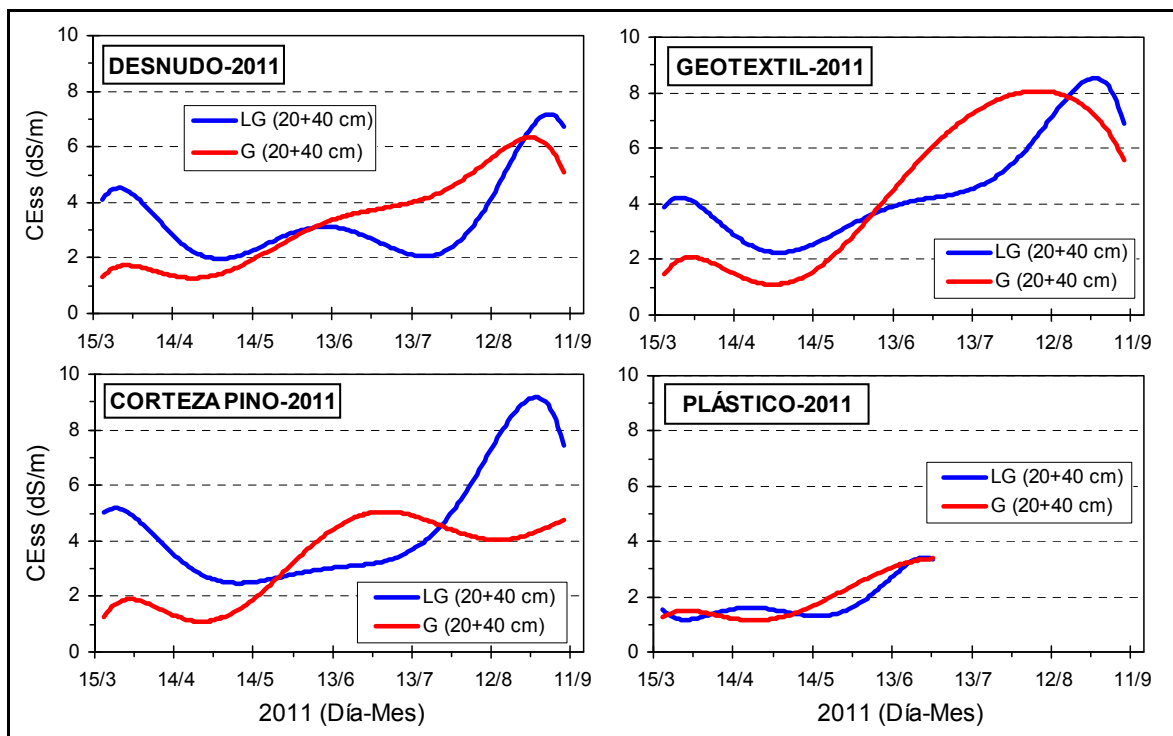


Figura IV.86. Año 2011. Tratamientos de acolchado del suelo: Evolución de la CEss estimada en cada posición de muestreo (LG = línea de goteros, G = gotero) a lo largo de la estación de riego para el conjunto de observaciones a 20 y 40 cm de profundidad de suelo.

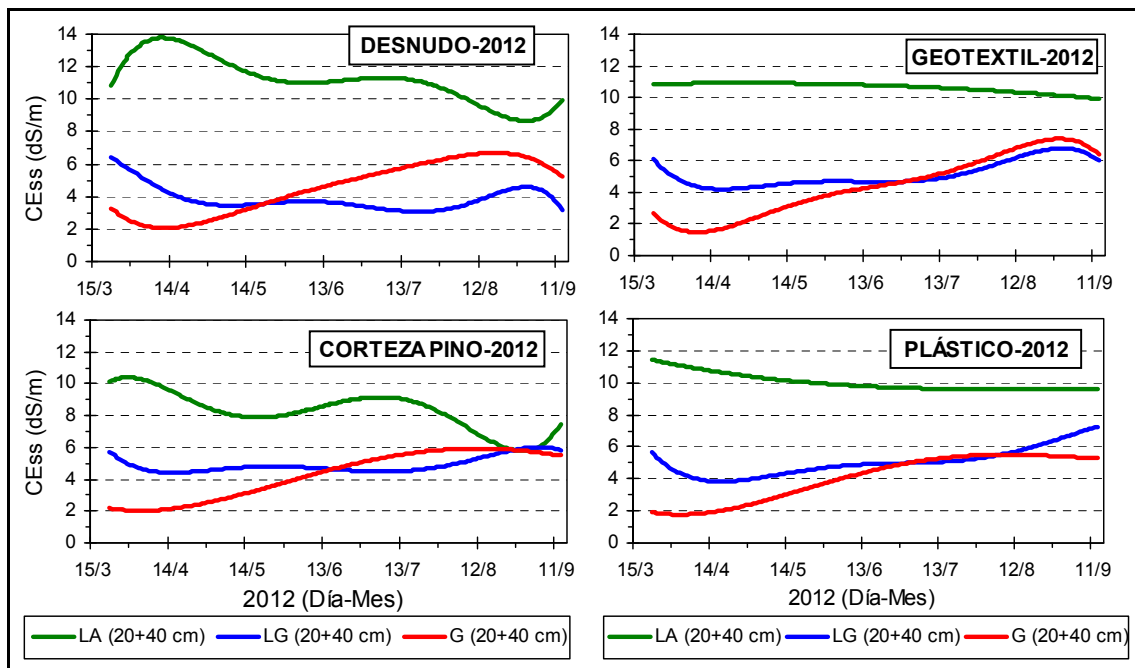


Figura IV.87. Año 2012. Tratamientos de acolchado del suelo: Evolución de la CEss estimada en cada posición de muestreo (LA = línea de árboles, LG = línea de goteros, G = gotero) a lo largo de la estación de riego para el conjunto de observaciones a 20 y 40 cm de profundidad de suelo.

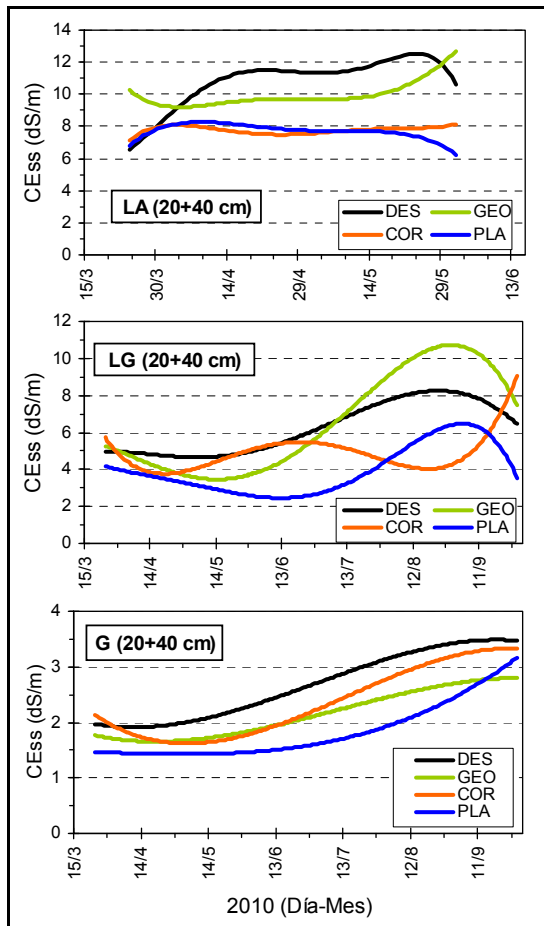


Figura IV.88. Año 2010. Posiciones de muestreo (LA = línea de árboles, LG = línea de goteros, G = gotero): Evolución de la CEss estimada en cada tratamiento de acolchado a lo largo de la estación de riego para el conjunto de observaciones a 20 y 40 cm de profundidad de suelo.

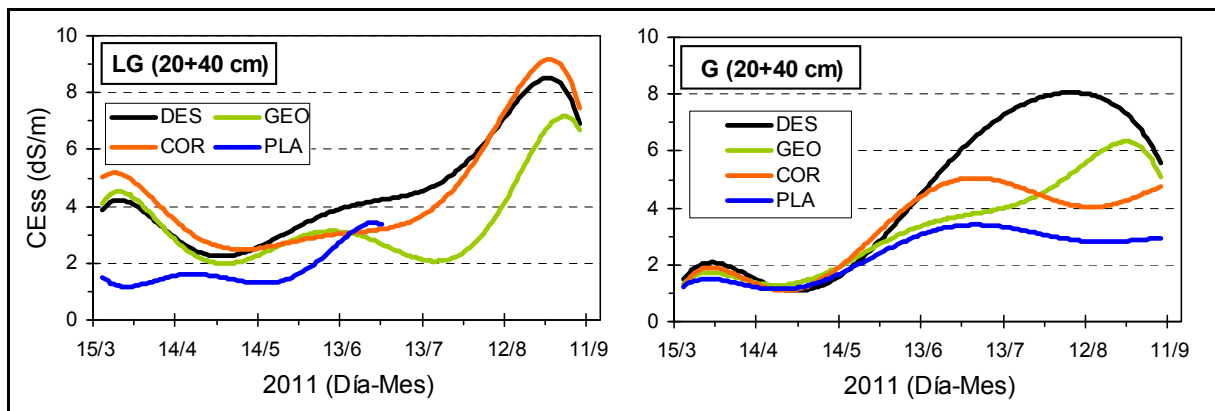


Figura IV.89. Año 2011. Posiciones de muestreo (LG = línea de goteros, G = gotero): Evolución de la CEss estimada en cada tratamiento de acolchado a lo largo de la estación de riego para el conjunto de observaciones a 20 y 40 cm de profundidad de suelo.

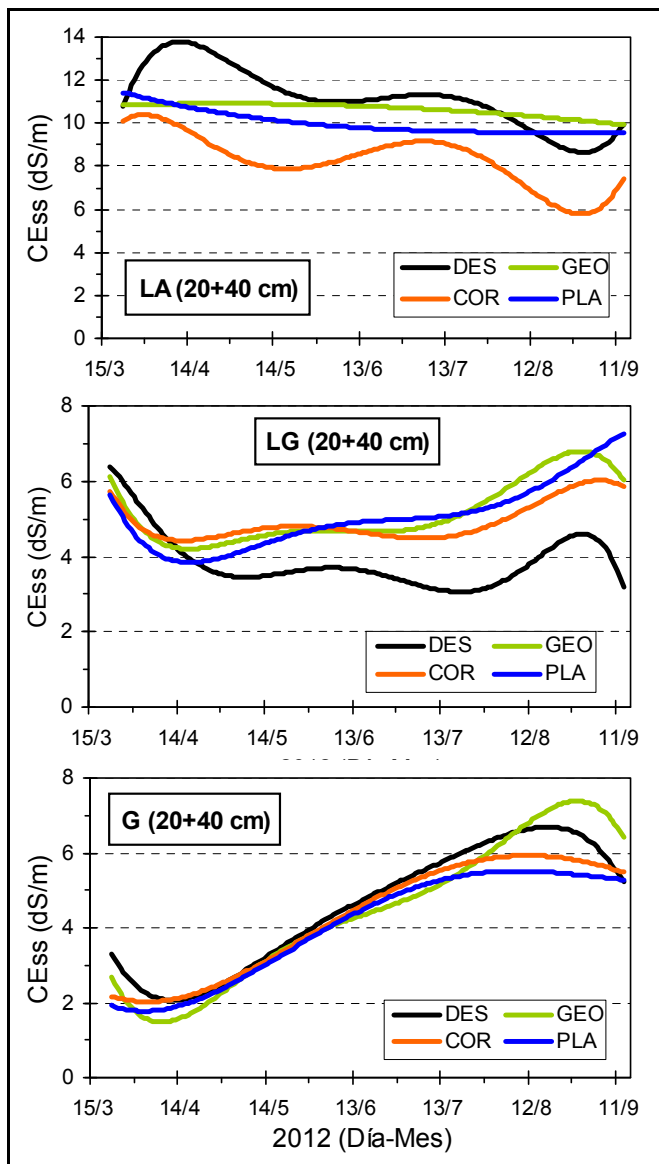


Figura IV.90. Año 2012. Posiciones de muestreo (LA = línea de árboles, LG = línea de goteros, G = gotero): Evolución de la CEss estimada en cada tratamiento de acolchado a lo largo de la estación de riego para el conjunto de observaciones a 20 y 40 cm de profundidad de suelo.

- **Curvas polinomiales de ajuste del conjunto de valores medidos de CEss a 20 y 40 cm de profundidad de suelo en las posiciones de muestreo G y LG en los años 2010 a 2012 para cada tratamiento de acolchado**

Las posiciones gotero (G) y línea de goteros (LG) están separadas a una distancia de 50 cm pero ambas posiciones están situadas en el fondo de un pequeño surco en el que se encuentra la línea portagoteros. En ocasiones el flujo preferente de agua en este pequeño surco favorece el flujo de agua a lo largo del surco en vez de producirse un flujo radial desde el gotero. Desde este punto de vista es interesante conocer la evolución de la CEss conjuntamente para las medidas efectuadas en estas dos posiciones de muestreo y ambas profundidades de medida.

Las Figuras IV.91 a IV.93 presentan las curvas polinomiales de ajuste de los valores de CEss medidos en los distintos tratamientos de acolchado del suelo para el conjunto de observaciones tomadas en el gotero (G) y línea de gotero (LG) y las dos profundidades de suelo de 20 y 40 cm. La elevada variabilidad en los valores de CEss observada en cada tratamiento de acolchado es debida en gran medida a las diferentes posiciones de muestreo y profundidades de suelo. Las ecuaciones polinomiales se presentan en los Anejos 6,9 y 12.

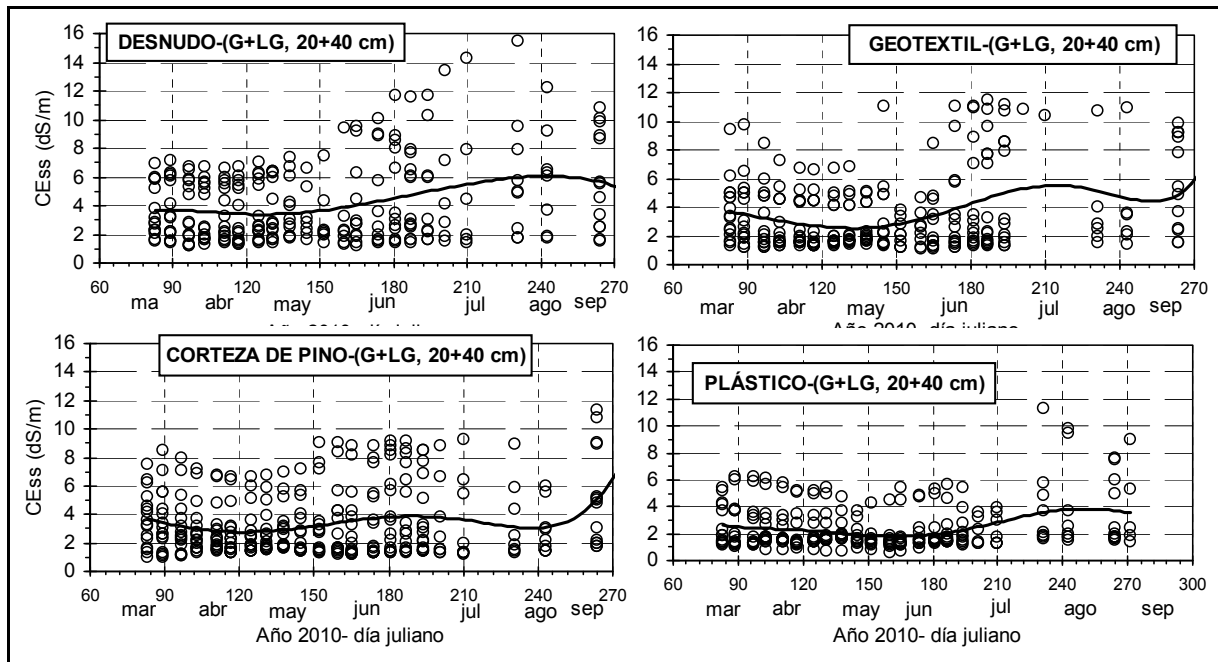


Figura IV.91. Año 2010. Curvas polinomiales de ajuste de todos los valores de CEss medidos en las posiciones gotero (G) y línea de gotero (LG) a 20 y 40 cm de profundidad de suelo para cada tratamiento de acolchado del suelo a lo largo de la estación de riego 2010 frente a los días julianos acumulados.

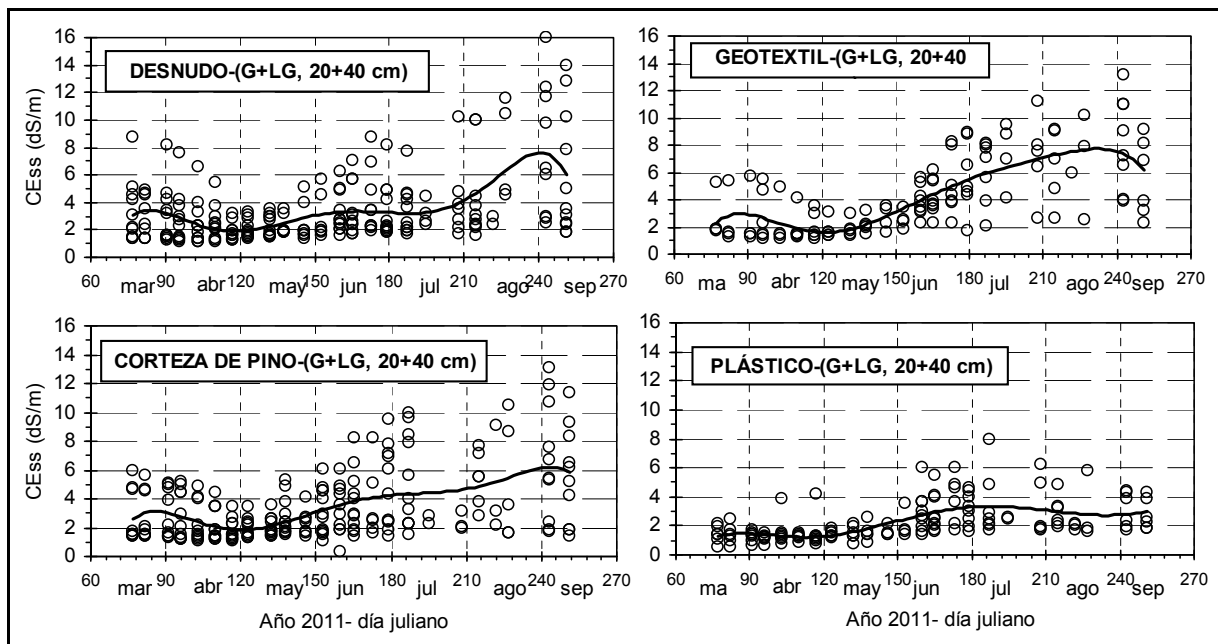


Figura IV.92. Año 2011. Curvas polinomiales de ajuste de todos los valores de CEss medidos en las posiciones gotero (G) y línea de gotero (LG) a 20 y 40 cm de profundidad de suelo para cada tratamiento de acolchado del suelo a lo largo de la estación de riego 2011 frente a los días julianos acumulados.

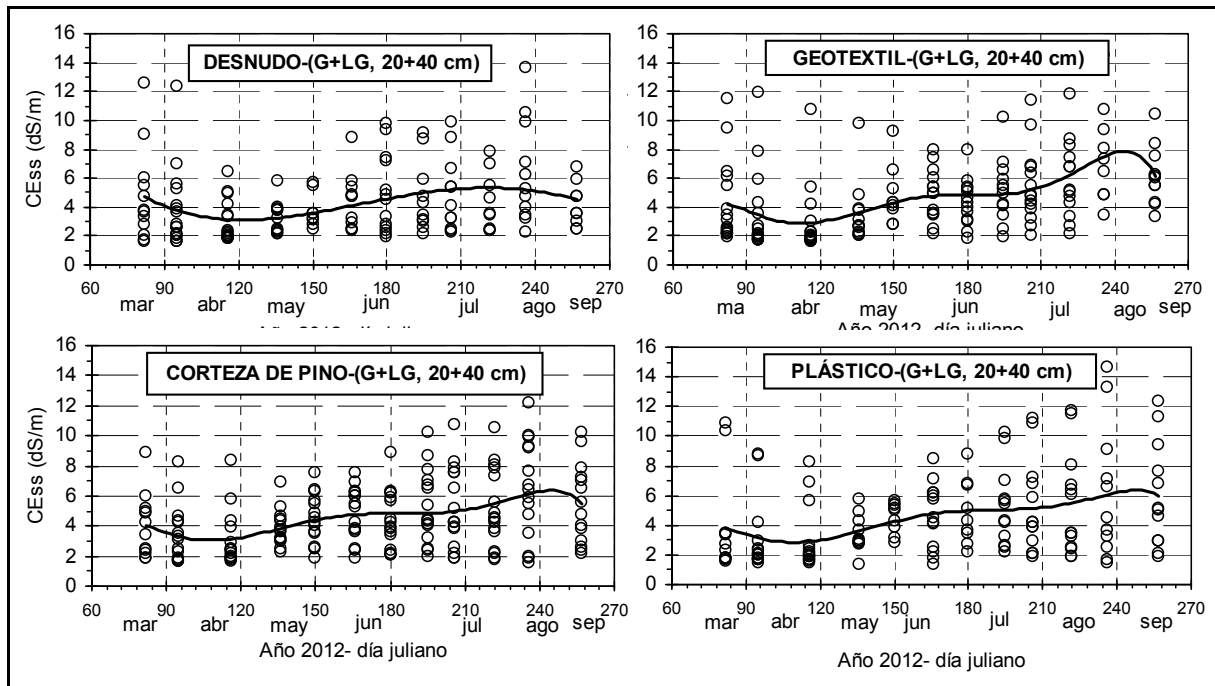


Figura IV.93. Año 2012. Curvas polinomiales de ajuste de todos los valores de CEss medidos en las posiciones gotero (G) y línea de gotero (LG) a 20 y 40 cm de profundidad de suelo para cada tratamiento de acolchado del suelo a lo largo de la estación de riego 2012 frente a los días julianos acumulados.

La Figura IV.94 presenta para cada tratamiento de acolchado la evolución de la CEss diaria y del riego y precipitación quincenales (Figura IV.94 A) y de la CEss media para períodos de 20 días (Figura IV.94 B) entre los días julianos iniciales y finales medidos en cada año.

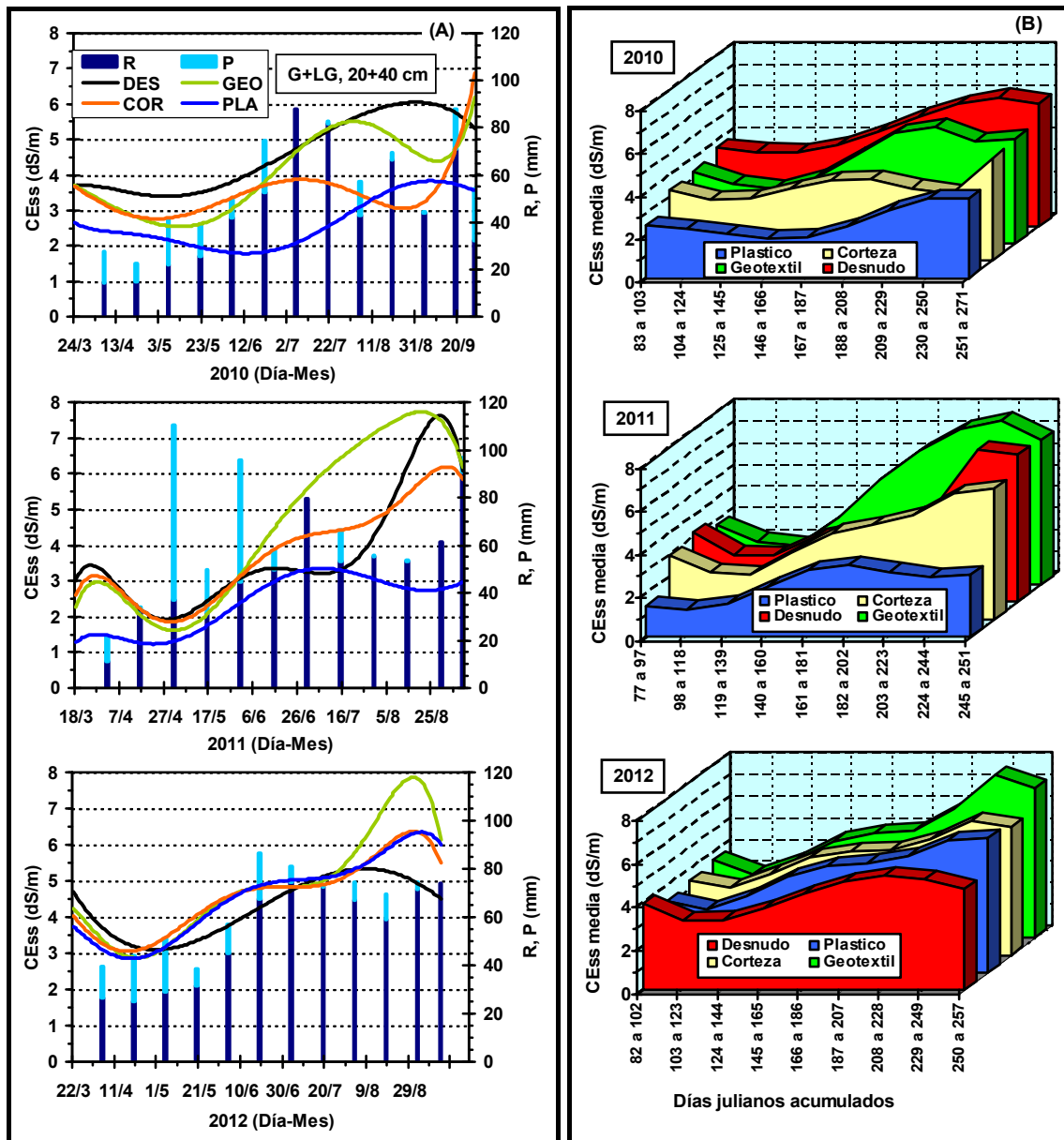


Figura IV.94. Años 2010, 2011 y 2012. (A) Evolución de la CEss estimada en cada tratamiento de acolchado y valores quincenales de riego (R) y precipitación (P) a lo largo de las estaciones de riego 2010-2012; **(B)** Evolución de la CEss estimada para períodos de 20 días en cada tratamiento de acolchado a lo largo de las estaciones de riego 2010-2012. En ambos casos, las estimas de CEss se han obtenido para el conjunto de observaciones en las posiciones de muestreo LG (línea de goteros) y G (gotero) y las profundidades de suelo de 20 y 40 cm.

Todos los tratamientos de acolchado mostraron tendencias de salinización de la solución del suelo a lo largo de las estaciones de riego de los tres años estudiados, pero el acolchado plástico fue el de menor incremento de salinidad en 2010 y 2011. La corteza de pino fue a continuación el acolchado más eficiente para el control de la salinidad, aunque en 2010 aumentó de forma apreciable al final de la estación de riego (ya se ha comentado anteriormente que dicho incremento final se deriva de un número escaso de observaciones, por lo que su fiabilidad es escasa). En el año 2012, el suelo desnudo fue el que menos incrementó la salinidad y el geotextil el que más la incrementó en particular en los meses de agosto y septiembre. La mayor eficiencia del plástico y la corteza de pino observada en los dos primeros años es congruente con su menor evaporación. El hecho no esperado de que el suelo desnudo sea el más eficiente en 2012 podría explicarse por la lluvia de unos 60 mm recogida entre junio y septiembre de dicho año, que lavaría las sales de forma más eficiente que en el resto de acolchados.

Las estimas iniciales de CE_{ss} fueron mayores en 2012 (entre 3.8 y 4.8 dS/m en los cuatro tratamientos), intermedias en 2010 (entre 2.5 y 3.5 dS/m) y menores en 2011 (entre 1.2 y 3 dS/m). El mayor valor inicial de CE_{ss} en 2012 se atribuye a las menores lluvias recogidas en los meses anteriores. Los valores finales fueron mayores en 2010 (entre 5.5 y 6.5 dS/m en todos los tratamientos salvo en el plástico, donde el valor final fue de 3.5 dS/m), y bastante parecidos en 2011 y 2012 (valores de en torno a 6 dS/m excepto el plástico en 2011, unos 3 dS/m, y el suelo desnudo en 2012, unos 4.5 dS/m). Las estimas de CE_{ss} media para períodos de 20 días producen resultados similares, de tal manera que se puede concluir que el plástico y la corteza de pino en 2010 y 2011 y el suelo desnudo en 2012 fueron los tratamientos más eficientes para el control de la salinidad.

De las tendencias observadas en estas figuras, se concluye que existe un efecto relativamente consistente de los valores quincenales de las lluvias y del riego sobre los valores de CE_{ss} medidos en los distintos tratamientos de acolchado. En 2010, las lluvias registradas en los meses de abril y mayo (unos 30 mm) minimizaron la salinización del suelo durante este periodo. Asimismo, el aumento del volumen de riego aplicado durante el mes de agosto junto con la lluvia acumulada en este mes redujeron la salinidad del suelo en los tratamientos geotextil y corteza de pino. En 2011, las elevadas precipitaciones que tuvieron lugar en el mes de abril (unos 43 mm) redujeron la salinidad en todos los tratamientos excepto en el suelo con plástico. El elevado volumen de riego aplicado al final de la estación de riego (unos 91 mm) explica el importante descenso de salinidad en todos los tratamientos excepto en el acolchado plástico. En 2012, las lluvias registradas en abril (unos 54 mm) redujeron asimismo la salinidad. Posteriormente, el aumento de la ET_c produjo un aumento de la salinidad en todos los tratamientos. Al final de la estación de riego (septiembre), el efecto combinado de unas demandas evaporativas más bajas y de un riego acumulado de unos 74 mm produjo un descenso de la salinidad de la solución del suelo en todos los tratamientos.

• Valores medios y tendencias de las estimas de CE_{ss}

Las Tablas IV.41 a 43 presentan para los años 2010 a 2012 los valores medios estimados de CE_{ss} para las distintas posiciones de muestreo y profundidades de suelo. En la última columna de estas Tablas se presentan las medias para las dos posiciones de muestreo (gotero-G y línea de gotero-LG) y las dos profundidades de suelo (20 y 40 cm).

A pesar de la incongruencia de algunos resultados, las estimas medias de CE_{ss} para las posiciones G y LG y las dos profundidades de suelo arrojaron el siguiente orden entre tratamientos:

Año 2010: DES (4.6 dS/m) > GEO (4.0 dS/m) > COR (3.5 dS/m) > PLA (2.6 dS/m)

Año 2011: GEO (4.5 dS/m) > COR (3.8 dS/m) = DES (3.7 dS/m) > PLA (2.4 dS/m)

Año 2012: GEO (4.8 dS/m) = PLA (4.8 dS/m) ≥ COR (4.6 dS/m) > DES (4.3 dS/m)

Y para la CEss media de los tres años:

$$\text{GEO (4.4 dS/m)} > \text{DES (4.1 dS/m)} > \text{COR (3.8 dS/m)} > \text{PLA (3.2 dS/m)}$$

En síntesis, el acolchado plástico fue en promedio de los tres años el más eficaz para el control de la salinidad y el geotextil el menos eficaz.

Tabla IV.41. Año 2010. Valores medios estimados de CEss en cada tratamiento de acolchado, posición de muestreo y profundidad de suelo.

Año 2010. Valores medios estimados de CEss (dS/m)										
Posición muestreo Profundidad (cm)	Línea árboles (LA)			Gotero (G)			Línea goteros (LG)			Media (G+LG)
	20	40	20+40	20	40	20+40	20	40	20+40	
Desnudo	9.0	12.2	9.3	2.8	2.6	2.7	5.0	7.5	6.2	4.6
Geotextil	6.8	6.6	10.0	1.8	2.5	2.1	7.5	5.1	6.5	4.0
Corteza	5.4	10.0	7.8	2.1	2.7	2.3	4.0	6.4	4.9	3.5
Plástico	4.0	10.0	7.7	1.6	2.0	1.8	4.1	3.6	4.0	2.6

Tabla IV.42. Año 2011. Valores medios estimados de CEss en cada tratamiento de acolchado, posición de muestreo y profundidad de suelo.

Año 2011. Valores medios estimados de CEss (dS/m)								
Posición muestreo Profundidad (cm)	Gotero (G)			Línea goteros (LG)			Media (G+LG)	
	20	40	20+40	20	40	20+40		
Desnudo	3.1	3.9	3.3	3.5	4.8	3.4	3.7	
Geotextil	4.7	4.6	4.5	4.3	4.7	4.5	4.5	
Corteza	2.7	4.9	3.3	3.9	5.4	4.5	3.8	
Plástico	2.4	2.5	2.4	1.7	2.0	1.8	2.4	

Tabla IV.43. Año 2012. Valores medios estimados de CEss en cada tratamiento de acolchado, posición de muestreo y profundidad de suelo.

Año 2012. Valores medios estimados de CEss (dS/m)										
Posición muestreo Profundidad (cm)	Línea árboles (LA)			Gotero (G)			Línea goteros (LG)			Media (G+LG)
	20	40	20+40	20	40	20+40	20	40	20+40	
Desnudo	12.1	10.7	11.2	4.3	4.8	4.6	3.5	4.1	3.9	4.3
Geotextil	10.0	11.0	10.6	4.1	4.6	4.4	4.4	6.2	5.1	4.8
Corteza	7.3	9.0	8.3	3.3	5.3	4.3	4.8	4.9	4.9	4.6
Plástico	10.1	10.8	10.0	2.8	5.7	4.0	3.8	6.2	5.0	4.8

A efectos de apreciar mejor las diferencias en la evolución de la CEss entre los tratamientos de acolchado, la Figura IV.95 presenta sus valores estimados medios cada 15 días donde los tratamientos se han ordenado de menor (frente) a mayor (fondo) CEss.

Estas medias se han efectuado para suavizar las variaciones puntuales que podían distorsionar las tendencias globales. En este análisis comparativo entre tratamientos de acolchado se ha seleccionado el período de los días julianos acumulados 83 a 251 por ser el que dispone de datos en todos los tratamientos.

De esta figura se deduce que el comportamiento de los tratamientos en el período considerado fue diferente en cada año analizado. El acolchado plástico fue el de menor CEss en 2010 y 2011, aunque en el año 2010 la CEss se duplicó desde unos 2 dS/m a unos 4 dS/m en los últimos 40 días (finales de agosto y mes de septiembre), mientras que en 2011 la CEss aumentó hasta mediados de la estación de riego y luego se estabilizó en torno a 3 dS/m.

Por el contrario, en el año 2012, la CEss del acolchado plástico aumentó sistemáticamente a partir del día 120 y alcanzó un valor cercano a 7 dS/m al final de la estación de riego. Este resultado parece incongruente si se acepta que la evaporación fue nula en este acolchado, y solo podría explicarse si la transpiración aumentó sensiblemente por efecto del acolchado (hipótesis que no puede dilucidarse en este trabajo) o hubo problemas de ruptura del plástico, obturación de goteros u otras circunstancias indeterminadas que no fueron aparentes en el campo. Un análisis más detallado de este acolchado indica que la CEss fue baja y constante en G y LG a 20 cm de profundidad, pero a 40 cm de profundidad la CEss aumentó de una forma desproporcionada hasta alcanzar valores superiores a 12 dS/m en algún bloque (Figura IV.66 y Anejo 3). Este comportamiento anómalo del acolchado plástico en 2012 no tiene por lo tanto una explicación plausible.

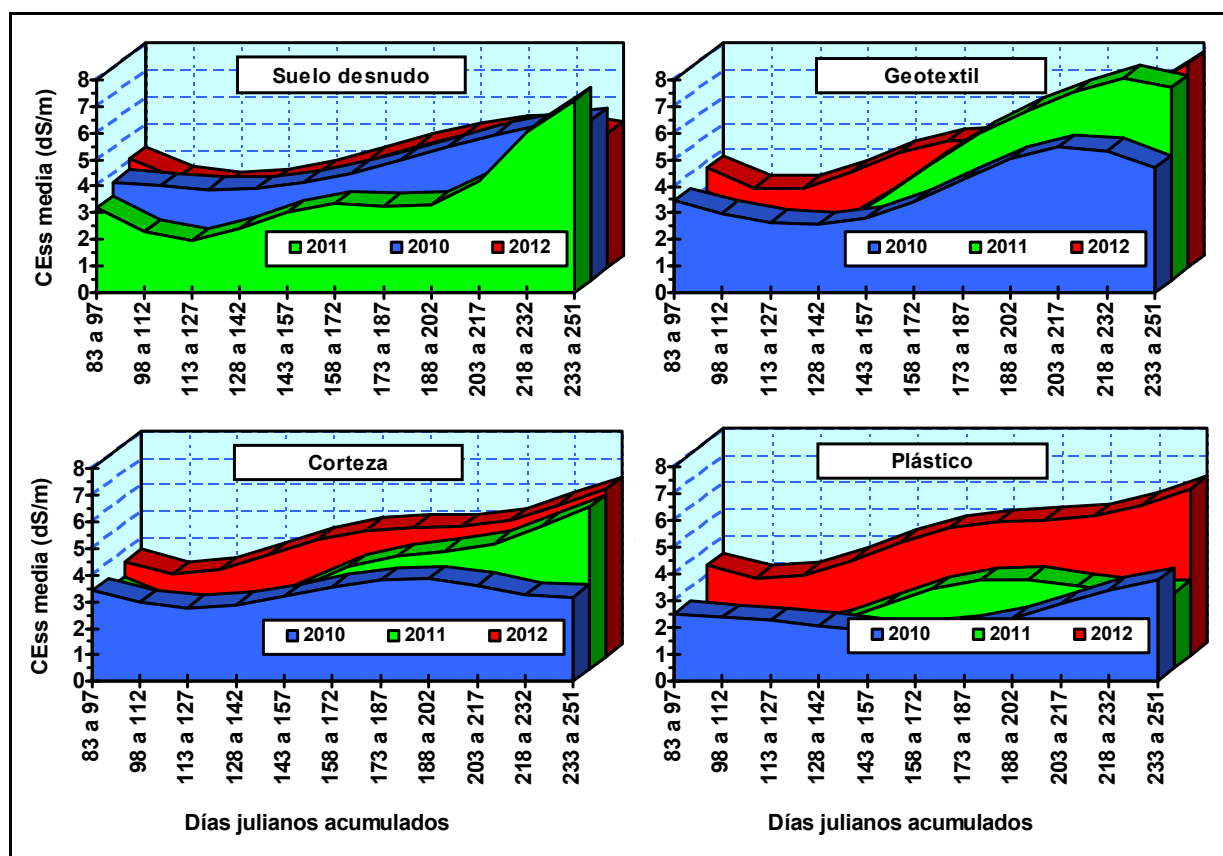


Figura IV.95. Evolución de la CEss media quincenal en los años 2010, 2011 y 2012 para los distintos tratamientos de acolchado del suelo. En ambos casos, las estimas de CEss se han obtenido para el conjunto de observaciones en las posiciones de muestreo LG (línea de goteros) y G (gotero) y las profundidades de suelo de 20 y 40 cm.

El acolchado con corteza de pino se mantuvo bajo y bastante estable en 2010 (salvo en los últimos 20 días de septiembre, donde aumentó de forma abrupta) y en los primeros días de 2011 y 2012, pero posteriormente aumentó progresivamente hasta alcanzar al final valores de en torno a 6 dS/m en ambos años. El acolchado geotextil tuvo incrementos importantes de CEss en los tres años analizados y demostró ser un tratamiento muy ineficaz para el control de la salinidad. Finalmente, el suelo desnudo aumentó significativamente la CEss en

2010 y 2011, pero fue el de menor valor de salinidad en 2012. Este último resultado no tiene explicación salvo porque en 2012 se recogieron entre junio y septiembre unos 60 mm de lluvia frente a solo unos 30 mm en 2011.

En base a las medias quincenales de CEss, se ha calculado para cada tratamiento de acolchado la variación relativa de la CEss final en relación a la CEss inicial. La Tabla IV.44 resume estas variaciones relativas en cada año experimental y en promedio de los tres años experimentales.

Tabla IV.44. Variaciones porcentuales de las CEss medias quincenales finales relativas a las CEss medias quincenales iniciales en cada tratamiento de acolchado y año, así como en promedio de los tres años (2010 a 2012).

Año	Tratamientos de acolchado (ordenados de mayor a menor variación porcentual relativa)
2010	DES (63%) > PLA (50%) > GEO (35%) > COR (-7%)
2011	GEO (154%) > DES (127%) > COR (101%) > PLA (92%)
2012	GEO (105%) > PLA (85%) > COR (76%) > DES (23%)
2010-2012	GEO (95%) > PLA (75%) > DES (67%) > COR (55%)

Tal como se ha comentado anteriormente, el comportamiento de los acolchados fue diferente en cada año experimental, aunque en general el acolchado geotextil fue el de mayores incrementos relativos de CEss (excepto en 2010) y la corteza de pino el de incrementos más bajos o intermedios.

Así, para el promedio de los tres años analizados el incremento relativo de salinidad fue máximo en el acolchado geotextil (95%), intermedio en el plástico y suelo desnudo (75% y 67%, respectivamente) y mínimo en la corteza de pino (55%). El orden relativo de los acolchados geotextil y corteza de pino está de acuerdo con resultados previos obtenidos en esta tesis, mientras que el plástico y el suelo desnudo tienen un orden relativo que se ve posiblemente afectado por la lluvia recogida en cada año experimental.

Tratando de profundizar en el análisis de los resultados obtenidos con las medias quincenales de CEss, la Tabla IV.45 presenta para cada año analizado y para el promedio de los tres años el orden de los tratamientos de acolchado en base a sus CEss medias quincenales finales. Asimismo para el promedio de los tres años se presenta el orden de los tratamientos de acolchado en base a sus CEss medias quincenales del período (días julianos acumulados 83 a 251) y en base a la variación absoluta o diferencia entre la CEss quincenal final e inicial.

Las CEss finales máximas alcanzaron según años y tratamientos valores de entre 6.0 y 7.7 dS/m, indicando que la salinización del suelo fue preocupante en algunos casos ya que estos valores superan claramente los umbrales de tolerancia de la nectarina que serían del orden de 3.5 dS/m en base a la salinidad de la solución del suelo (equivalente a 1.7 dS/m en base a la CEe).

Asimismo, en base a la CEss media quincenal del período, únicamente el acolchado plástico (CEss = 3.1 dS/m) tendría valores inferiores a dicho umbral, por lo que la nectarina podría verse negativamente afectada por estrés salino en el resto de tratamientos.

El orden cualitativo de los tratamientos de acolchado en base a la CEss media quincenal final es parecido en los tres años, excepto el suelo desnudo en el año 2012. Para el promedio de los tres años, el orden cualitativo obtenido en base a la CEss media quincenal final, la CEss media quincenal del período y la CEss media quincenal final-inicial es el mismo, de tal manera que cabe concluir que el acolchado geotextil sería el más ineficaz para el control de la salinidad, seguido del suelo desnudo y la corteza de pino, mientras que el acolchado plástico sería en promedio el más eficaz para dicho control.

Tabla IV.45. Valores de CEss medios quincenales finales obtenidos en cada tratamiento de acolchado y año. Asimismo, para el promedio de los tres años (2010 a 2012) se presentan las CEss medias quincenales finales, las CEss medias quincenales del período y la variación absoluta entre la CEss media quincenal final e inicial del período.

Año	Tratamientos de acolchado (ordenados de mayor a menor CEss media quincenal final)
2010	DES (6.0 dS/m) > GEO (4.7 dS/m) > PLA (3.8 dS/m) > COR (3.2 dS/m)
2011	DES (7.2 dS/m) = GEO (7.2 dS/m) > COR (6.1 dS/m) > PLA (2.8 dS/m)
2012	GEO (7.7 dS/m) > COR (6.3 dS/m) = PLA (6.2 dS/m) > DES (5.0 dS/m)
2010-2012	GEO (6.5 dS/m) > DES (6.1 dS/m) > COR (5.2 dS/m) > PLA (4.3 dS/m)
Tratamientos de acolchado (ordenados de mayor a menor CEss media quincenal del período)	
2010-2012	GEO (4.4 dS/m) > DES (4.1 dS/m) > COR (3.9 dS/m) > PLA (3.1 dS/m)
Tratamientos de acolchado (ordenados de mayor a menor CEss media quincenal final-inicial)	
2010-2012	GEO (3.2 dS/m) > DES (2.4 dS/m) > COR (1.8 dS/m) = PLA (1.8 dS/m)

Este orden cualitativo de los tratamientos de acolchado es coherente con resultados previos obtenidos en esta tesis respecto a sus valores de evaporación:

- a) El geotextil es un acolchado que en contacto directo con el agua de riego y con el suelo satura sus poros con agua que es fácilmente evaporada. Además, parte del agua de lluvia queda retenida por los poros y es asimismo evaporada, lo que reduce el agua de lluvia infiltrada en el suelo y el consiguiente lavado de sales.
- b) El suelo desnudo es el tratamiento de mayor evaporación y evapo-concentración del agua de riego en el suelo, pero permite la infiltración del agua de lluvia en mayor medida que el geotextil, con el resultado final de que los valores de CEss son en general menores que los de este acolchado debido al lavado de sales producido por la lluvia infiltrada que compensa en parte su mayor evapo-concentración.
- c) La corteza de pino reduce sensiblemente la evaporación y permite en mayor o menor medida el paso de la lluvia a través de ella, lo que conduce a que los valores de CEss sean menores que los del geotextil y el suelo desnudo.
- d) El acolchado plástico reduce prácticamente a cero la evaporación y, por lo tanto, la evapoconcentración del agua de riego en el suelo, pero evita asimismo el paso de la lluvia a través del mismo. El resultado final es que este acolchado es en general el más eficiente para el control de la salinidad, pero su ordenación respecto al resto de tratamientos depende del agua de lluvia, ya que en años muy lluviosos puede ser menos eficaz que otros tratamientos como la corteza y, en particular, el suelo desnudo que permiten la infiltración del agua de lluvia en el suelo y el subsiguiente lavado más o menos importante de las sales acumuladas en el mismo.

IV.3.3.5.2.4. Comparación entre valores de CEss medidos y estimados

Tal como se ha comentado al inicio de este capítulo, el número relativamente elevado de valores perdidos de CEss (derivado de la imposibilidad de extraer la solución del suelo con las sondas de succión en bastantes ocasiones) aconsejó analizar los resultados asimismo en base a las estimas de CEss efectuadas según el procedimiento largo y complejo anteriormente descrito.

En este apartado se comparan los resultados obtenidos en base a las CEss medidas y estimadas con el objetivo de analizar el grado de desviación entre ellas y determinar si es estrictamente necesario proceder a calcular las estimas de CEss o es suficiente (a pesar de la existencia de valores perdidos) efectuar el análisis en base a las CEss medidas evitando el tedioso cálculo de las estimas de CEss.

Las Tablas IV.46 a 48 presentan, para cada año experimental y tratamiento de acolchado, las diferencias entre los valores de CEss medidos y estimados en cada posición de muestreo y profundidad de suelo.

Tabla IV.46. Año 2010. Diferencias entre valores medios de CEss medidos y estimados en cada tratamiento de acolchado, posición de muestreo y profundidad de suelo.

Año 2010. Diferencia entre valores medios medidos y estimados de CEss (dS/m)										
Posición muestreo	Línea árboles			Gotero			Línea goteros			Media
Profundidad (cm)	20	40	20+40	20	40	20+40	20	40	20+40	(G+ LG, 20+ 40)
Desnudo	0.1	0.0	1.3	-0.4	-0.1	-0.3	-0.3	-0.9	-0.5	-0.4
Geotextil	-0.3	0.6	-0.5	0.0	-0.2	-0.1	-1.3	-1.0	-1.3	-0.4
Corteza	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.4	-0.2	0.2	-2.8	-0.1	-0.1
Plástico	0.1	-0.1	-0.7	-0.1	-0.2	-0.1	1.4	-0.3	-0.5	-0.2

Tabla IV.47. Año 2011. Diferencias entre valores medios de CEss medidos y estimados en cada tratamiento de acolchado, posición de muestreo y profundidad de suelo.

Año 2011. Diferencia entre valores medios medidos y estimados de CEss (dS/m)								
Posición muestreo	Gotero			Línea de goteros			Media	
Profundidad (cm)	20	40	20+40	20	40	20+40	(G+ LG, 20+ 40)	
Desnudo	0.0	-0.7	-0.2	-0.4	-0.5	0.2	-0.3	
Geotextil	0.9	-1.2	-0.2	-0.1	-0.6	-0.3	-0.3	
Corteza	-0.1	-1.3	-0.3	-0.4	-0.9	-0.6	-0.4	
Plástico	0.2	0.0	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	

Tabla IV.48. Año 2012. Diferencias entre valores medios de CEss medidos y estimados en cada tratamiento de acolchado, posición de muestreo y profundidad de suelo.

Año 2012. Diferencia entre valores medios medidos y estimados de CEss (dS/m)										
Posición muestreo	Línea árboles			Gotero			Línea goteros			Media
Profundidad (cm)	20	40	20+40	20	40	20+40	20	40	20+40	(G+ LG, 20+ 40)
Desnudo	0.4	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.2	-0.1	-0.1
Geotextil	0.5	0.1	0.2	-0.1	-0.3	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.1
Corteza	0.2	0.3	0.2	0.0	0.1	0.1	-0.1	0.2	0.0	0.0
Plástico	-0.1	0.1	0.5	0.0	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	-0.2

En los años 2010 y 2011 las diferencias entre los valores medidos y estimados fueron en general negativas, indicando que los valores estimados fueron superiores a los medidos. La mayoría de estas diferencias en cada posición de muestreo y profundidad de suelo fueron inferiores a 1 dS/m (en valores absolutos), indicando una concordancia aceptable entre los valores medidos y estimados. Asimismo, las diferencias para las medias de G+LG y 20+40 cm fueron iguales o inferiores a 0.4 dS/m, excepto en el suelo desnudo del año 2010

(diferencia de 0.7 dS/m). En el año 2012 las diferencias fueron todavía menores, de tal manera que para la media de G+LG y 20+40 cm todas las diferencias fueron iguales o inferiores a 0.2 dS/m (valor absoluto). Las menores diferencias entre los valores medidos y estimados en el año 2012 cabe atribuir las a que en el año 2012 el porcentaje de extracción con las sondas de succión (81%) fue superior al obtenido en 2010 (74%) y 2011 (45%).

La Tabla IV.49 sintetiza, para cada tratamiento, año y conjunto de años, las CEss medias medidas y estimadas y las diferencias entre ellas.

Tabla IV.49. Años 2010 a 2012. Diferencias entre valores medios de CEss medidos y estimados en cada tratamiento de acolchado de cada año y del promedio de los tres años para el conjunto de valores de las posiciones Gotero y Línea de goteros y las dos profundidades de suelo (20 y 40 cm).

Año	Tratamiento	CEss medida (dS/m)	CEss estimada (dS/m)	CEss (med-est) (dS/m)
2010	Desnudo	4.2	4.5	-0.3
	Geotextil	3.6	4.2	-0.6
	Corteza	3.4	3.8	-0.4
	Plástico	2.3	2.8	-0.5
	Media	3.4	3.8	-0.4
2011	Desnudo	3.4	3.8	-0.4
	Geotextil	4.2	4.6	-0.4
	Corteza	3.4	4.2	-0.8
	Plástico	2.3	2.2	0.1
	Media	3.3	3.8	-0.5
2012	Desnudo	4.3	4.2	0.1
	Geotextil	4.7	4.8	-0.1
	Corteza	4.6	4.6	0
	Plástico	4.6	4.6	0
	Media	4.6	4.5	0.1
Media 2010-12	Desnudo	3.9	4.2	-0.3
	Geotextil	4.0	4.5	-0.5
	Corteza	3.7	4.2	-0.5
	Plástico	2.9	3.3	-0.4
	Media	3.7	4.1	-0.4

Las CEss estimadas que se presentan en esta Tabla difieren ligeramente de las presentadas en las Tablas IV.41 a 43 porque las de la Tabla IV.49 resultan de la media de las respectivas estimas diarias obtenidas en G y LG a 20 y 40 cm de profundidad de suelo, mientras que las de las Tablas IV.41 a 43 resultan de las respectivas ecuaciones polinomiales. En principio, las estimas de la Tabla IV.50 son mas robustas que las de las Tablas IV.41 a 43 porque las primeras se han obtenido de las ecuaciones polinomiales individuales para G y LG a 20 y 40 cm de profundidad, mientras que las segundas se han obtenido de ecuaciones polinomiales para el conjunto de observaciones de G, LG, 20 y 40 cm que tienen una mayor dispersión. Esta es asimismo la razón por la que las CEss (med-est) de la Tabla IV.50 difieren en mayor o menor medida de las de las Tablas IV.47 a 49 (última columna).

Excepto en tres casos, todas las CEss estimadas fueron mayores que las correspondientes CEss medidas (esto es, valores negativos de CEss med–est). Excepto en dos casos, las diferencias entre los valores medidos y estimados fueron en valor absoluto iguales o inferiores a 0.5 dS/m. Las diferencias menores se obtuvieron en 2012, año con el mayor porcentaje de extracciones de la solución del suelo.

En base a las CEss medias medidas y estimadas para el conjunto de años 2010-2012, el orden cualitativo de los acolchados es (Tabla IV.49):

CEss medida: GEO (4.0 dS/m) > DES (3.9 dS/m) > COR (3.7 dS/m) >> PLA (2.9 dS/m)

CEss estimada: GEO (4.5 dS/m) > DES (4.2 dS/m) = COR (4.2 dS/m) >> PLA (3.3 dS/m)

Es decir, aunque los valores de CEss estimados fueron mayores que los respectivos valores de CEss medidos, el orden cualitativo de los acolchados fue similar, de tal manera que el geotextil (GEO) fue el menos eficaz y el plástico (PLA) el más eficaz para el control de la salinidad de la solución del suelo. Estos valores de CEss son inferiores o ligeramente superiores al umbral de tolerancia de la nectarina a la salinidad, por lo que sus rendimientos no deberían estar sensiblemente afectados por estrés salino.

Finalmente, se ha efectuado un análisis comparativo de las CEss medidas y estimadas a través de las regresiones lineales de estas dos variables obtenidas en cada año, tratamiento de acolchado, posición de muestreo y profundidad de suelo (Tablas IV.50 a 52). Las regresiones con valores elevados y significativos del coeficiente de determinación (R^2), pendientes (a) no significativamente diferentes de 1 y ordenadas en el origen (b) no significativamente diferentes de 0 indicarían que las CEss medidas y estimadas son similares.

El 80% de los 76 valores de R^2 en estas Tablas son significativos ($P < 0,001$) y solo cuatro valores de R^2 no son significativos (ns, $P > 0.05$), lo que indica que ambas variables están altamente correlacionadas en general. El 68% de los 76 valores de b son ns diferentes de cero, mientras que solo cinco pendientes son ns diferentes de uno y el resto tienen valores inferiores a la unidad. Estos resultados indican que las CEss estimadas y medidas están altamente correlacionadas en términos generales, aunque las CEss estimadas son mayores que las correspondientes CEss medidas en la mayoría de los años, tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo y profundidades de suelo.

En síntesis, los resultados presentados en este apartado permiten concluir que en general las CEss medias medidas y estimadas están correlacionadas, y que las diferencias entre ellas son pequeñas aunque en general las CEss estimadas son mayores que las CEss medias. Estos resultados sugieren que los errores o limitaciones derivados de la pérdida de valores medidos de CEss son arrastrados en gran medida en el cálculo de las estimas de CEss a través de las respectivas ecuaciones polinómicas. Por ello, la elevada relación esfuerzo/beneficio derivado de las estimas de CEss no parece justificado en la mayoría de los casos analizados en esta tesis,

Tabla IV.50. Año 2010. Regresiones lineales “CEss estimada = a CEss medida + b”: valores de la ordenada en el origen (b), pendiente (a) y coeficiente de determinación (R²) para cada tratamiento de acolchado del suelo, posición de muestreo y profundidad de suelo. Niveles de significación de R²: *** <0.001; ** <0,01; * <0.05; ^{ns} no significativo a P > 0.05. Los valores de a y b seguidos de * son significativamente diferentes a 1 y 0 (P < 0.05) respectivamente.

		2010		
		B	a	R ² (%)
Desnudo	LA 20 cm	1.00 ^{ns}	0.89*	86***
	LA 40 cm	1.65*	0.86*	97***
	G 20 cm	1.61*	0.43*	31**
	G 40 cm	1.60*	0.39*	33**
	LG 20 cm	3.11*	0.37*	41**
	LG 40 cm	1.17*	0.84*	85***
	Todo	4.04*	-0.08 ^{ns}	32 ^{ns}
Geotextil	LA 20 cm	1.29 ^{ns}	-1.65 ^{ns}	10*
	LA 40 cm	34.0*	-2.16*	72***
	G 20 cm	1.22*	0.31*	33**
	G 40 cm	0.61*	0.72*	75***
	LG 20 cm	2.06*	0.72*	78***
	LG 40 cm	0.10 ^{ns}	0.97*	97***
	Todo	-1.27 ^{ns}	0.80 ^{ns}	33 ^{ns}
Corteza de pino	LA 20 cm	0.43 ^{ns}	0.92*	95***
	LA 40 cm	4.84*	0.51**	59***
	G 20 cm	1.13*	0.44*	45***
	G 40 cm	0.29 ^{ns}	0.87*	89***
	LG 20 cm	0.91*	0.82*	85***
	LG 40 cm	1.77*	0.67*	79***
	Todo	-1.84 ^{ns}	1.09 ^{ns}	26 ^{ns}
Plástico	LA 20 cm	1.11*	0.73*	82***
	LA 40 cm	0.45 ^{ns}	0.95*	97***
	G 20 cm	0.66*	0.57*	62***
	G 40 cm	-1.08 ^{ns}	1.88*	49***
	LG 20 cm	0.41 ^{ns}	1.77*	90***
	LG 40 cm	1.29*	0.62*	70***
	Todo	0.75 ^{ns}	0.38*	55***

Tabla IV.51. Año 2011. Regresiones lineales “CEss estimada = a CEss medida + b”: valores de la ordenada en el origen (b), pendiente (a) y coeficiente de determinación (R²) para cada tratamiento de acolchado del suelo, posición de muestreo y profundidad de suelo. Niveles de significación de R²: *** <0.001; ** <0.01; * <0.05; ^{ns} no significativo a P > 0.05. Los valores de a y b seguidos de * son significativamente diferentes a 1 y 0 (P < 0.05) respectivamente.

		2011		
		b	a	R ² (%)
Desnudo	G 20 cm	0.7 ^{ns}	0.77*	74***
	G 40 cm	0.51 ^{ns}	0.90*	69***
	LG 20 cm	0.60 ^{ns}	0.82*	76***
	LG 40 cm	0.30 ^{ns}	0.93*	93***
	Todo	0.69 ^{ns}	0.82*	79***
Geotextil	G 20 cm	1.35 ^{ns}	0.76*	73***
	G 40 cm	0.49 ^{ns}	0.87*	87***
	LG 20 cm	2.90*	0.34*	22**
	LG 40 cm	0.77 ^{ns}	0.82*	86***
	Todo	0.14 ^{ns}	0.99*	94***
Corteza de pino	G 20 cm	0.86 ^{ns}	0.73*	66***
	G 40 cm	0.53 ^{ns}	0.86*	87***
	LG 20 cm	0.24 ^{ns}	0.95*	94***
	LG 40 cm	0.27 ^{ns}	0.97*	96***
	Todo	0.73 ^{ns}	0.83*	76***
Plástico	G 20 cm	0.43 ^{ns}	0.85*	83***
	G 40 cm	0.44 ^{ns}	0.80*	82***
	LG 20 cm	0.44 ^{ns}	0.73*	70***
	LG 40 cm	0.34 ^{ns}	0.82*	83***
	Todo	0.30 ^{ns}	0.85*	87***

Tabla IV.52. Año 2012. Regresiones lineales “CEss estimada = a CEss medida + b”: valores de la ordenada en el origen (b), pendiente (a) y coeficiente de determinación (R²) para cada tratamiento de acolchado del suelo, posición de muestreo y profundidad de suelo. Niveles de significación de R²: *** <0.001; ** <0.01; * <0.05; ^{ns} no significativo a P > 0.05. Los valores de a y b seguidos de * son significativamente diferentes a 1 y 0 (P < 0.05) respectivamente.

		2012		
		B	a	R ² (%)
Desnudo	LA 20 cm	0.27 ^{ns}	0.95*	749***
	LA 40 cm	0.78 ^{ns}	0.93*	89***
	G 20 cm	0.60 ^{ns}	0.82*	83***
	G 40 cm	-0.01 ^{ns}	1.00*	82***
	LG 20 cm	1.61 ^{ns}	0.53*	46*
	LG 40 cm	0.76 ^{ns}	0.85*	88***
	Todo	1.1 ^{ns}	0.74*	69***
Geotextil	LA 20 cm	5.03*	0.47*	41*
	LA 40 cm	-5.13*	0.53*	45*
	G 20 cm	0.24 ^{ns}	0.94*	94***
	G 40 cm	-0.01 ^{ns}	0.96*	94***
	LG 20 cm	0.14 ^{ns}	0.94*	93***
	LG 40 cm	7.92*	-0.31 ^{ns}	18 ^{ns}
	Todo	-0.05 ^{ns}	1.00*	97***
Corteza de pino	LA 20 cm	0.42 ^{ns}	0.94*	96***
	LA 40 cm	0.16 ^{ns}	0.98*	97***
	G 20 cm	0.58 ^{ns}	0.82*	84***
	G 40 cm	0.18 ^{ns}	1.00*	97***
	LG 20 cm	1.51 ^{ns}	0.68*	68***
	LG 40 cm	0.08 ^{ns}	0.96*	90***
	Todo	0.06 ^{ns}	0.99*	94***
Plástico	LA 20 cm	3.31*	0.68*	73***
	LA 40 cm	7.79*	0.29*	35*
	G 20 cm	1.10*	0.59*	58**
	G 40 cm	0.16 ^{ns}	0.97*	97***
	LG 20 cm	0.70 ^{ns}	0.81*	80***
	LG 40 cm	0.68 ^{ns}	0.89*	88***
	Todo	0.15 ^{ns}	0.96*	95***

IV.3.3.6. Relaciones salinidad (CEe) – humedad (HG)

La salinidad del suelo debería estar relacionada con la humedad gravimétrica del suelo (HG) cuando la misma disminuye por debajo de capacidad de campo, ya que dicha disminución es atribuible a la ET y por lo tanto supone una evapo-concentración del agua y de las sales presentes en el suelo.

La Figura IV.96 muestra que la CEe y la HG del conjunto de muestras tomadas en el ensayo de nectarina en los años 2010 a 2012 están negativa y significativamente correlacionadas (P

< 0.001), aunque la dispersión de las observaciones es elevada, particularmente para los valores de HG más bajos. Cabe por lo tanto concluir que los incrementos de salinidad del suelo son debidos a la evapo-concentración de la solución del suelo y consiguiente descenso de la humedad del suelo.

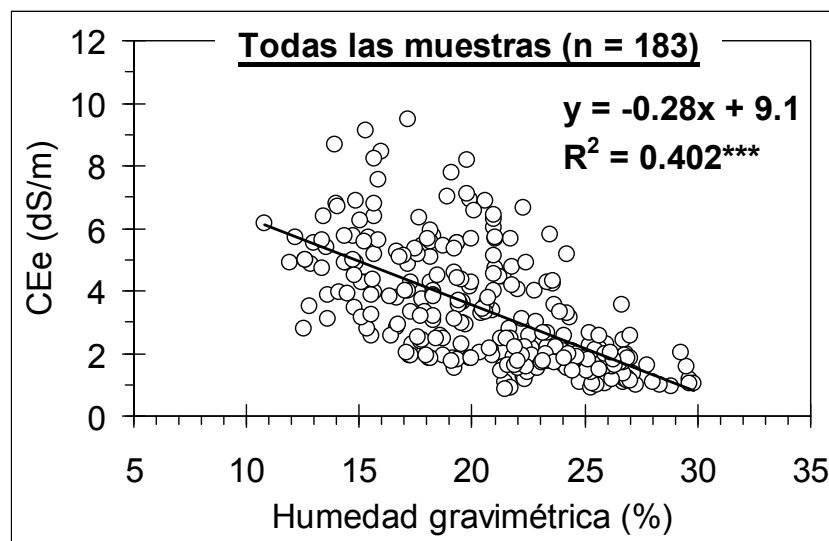


Figura IV.96. Regresión lineal entre la salinidad (CEe) y humedad gravimétrica (HG) del suelo para el total de muestras tomadas en los años 2010 a 2012 en el ensayo de nectarina en Caspe.

Las Figuras IV.97 a IV.99 muestran que las regresiones lineales CEE-HG fueron similares (ordenadas en el origen y pendientes no significativamente diferentes a $P > 0.05$) en los tres años analizados, en los cuatro tratamientos de acolchado, y en las tres posiciones de muestreo, significando que en todos los casos el efecto evapo-concentración fue la causa de los aumentos de salinidad y descensos de humedad.

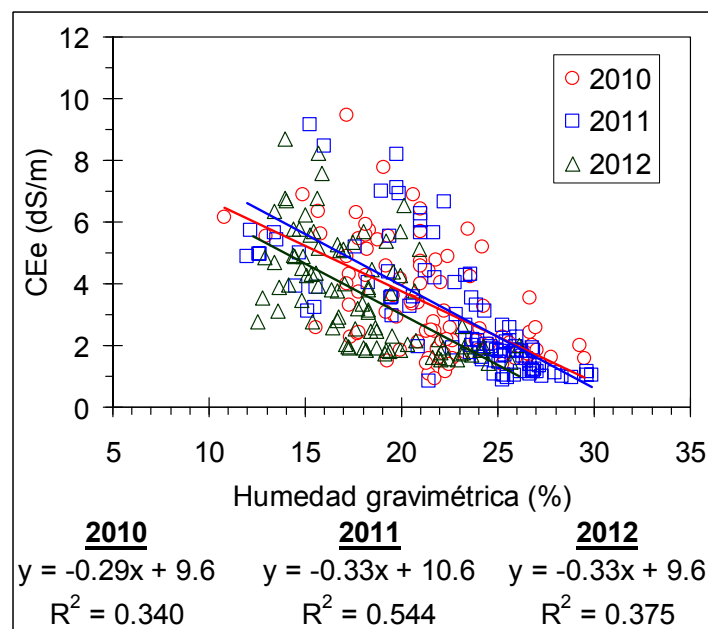


Figura IV.97. Regresión lineal entre la salinidad (CEe) y la humedad gravimétrica (HG) del suelo para las muestras tomadas en cada año 2010 a 2012 en el ensayo de nectarina en Caspe.

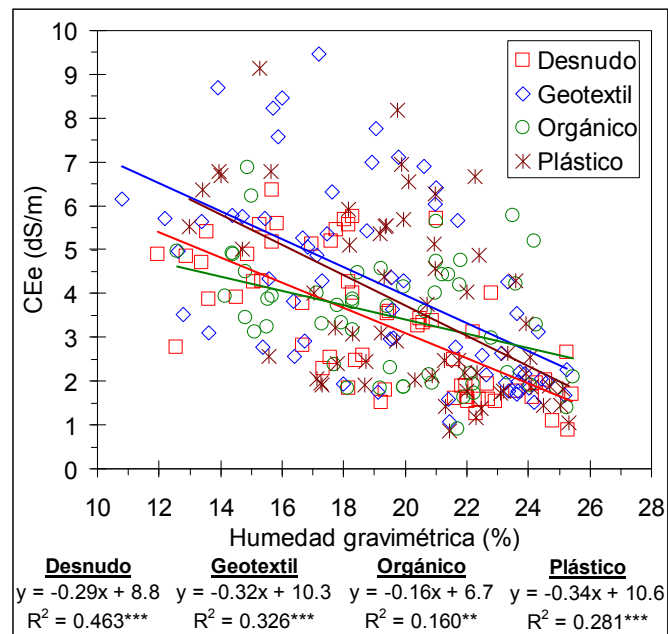


Figura IV.98. Regresión lineal entre la salinidad (CEe) y la humedad gravimétrica (HG) del suelo para el conjunto de muestras tomadas en los años 2010 a 2012 en cada tratamiento de acolchado (Desnudo, Geotextil, Orgánico, Plástico) en el ensayo de nectarina en Caspe.

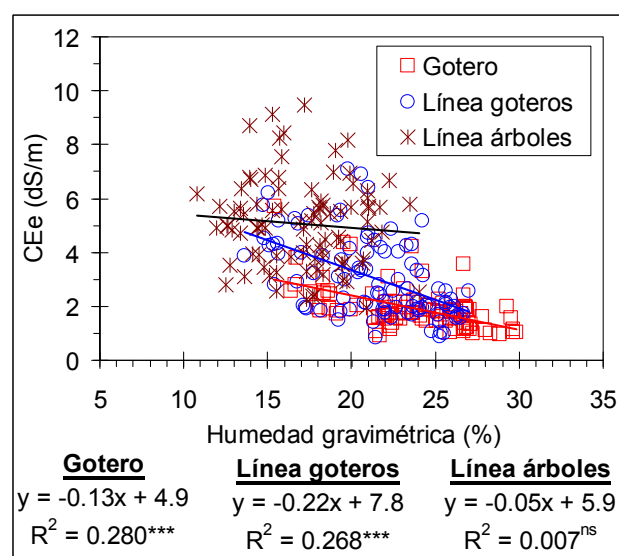


Figura IV.99. Regresión lineal entre la salinidad (CEe) y la humedad gravimétrica (HG) del suelo para el conjunto de muestras tomadas en los años 2010 a 2012 en cada posición de muestreo (Gotero, Línea goteros, Línea árboles) en el ensayo de nectarina en Caspe.

Para las tres posiciones de muestreo (Gotero-G, Línea de gotero-LG y Línea de árbol-LA) el orden de mayores a menores valores medios de CEE y HG en cada posición fue el opuesto:

Orden en base a CEE: LA (5.1 dS/m) > LG (3.0 dS/m) > G (1.9 dS/m)

Orden en base a HG: G (23.6%) > LG (21.4%) > LA (17.1%)

Tal como se ha discutido en los apartados anteriores, la salinidad fue muy elevada en la línea de árboles, intermedia en la línea de goteros y baja en el gotero (próxima a la CE del agua de riego), y este orden es el opuesto al de la humedad que fue baja en la línea de árboles, intermedia en la línea de goteros y alta en el gotero (próxima al valor de capacidad de campo del 26%).

IV.3.4. Nectarina

IV.3.4.1. Fenología

La caracterización fenológica del cultivo y la evaluación de parámetros fisiológicos se realizó con el objeto de delimitar el comienzo y el final de los períodos críticos de la nectarina bajo los distintos tratamientos de acolchado del suelo. Se efectuó un seguimiento semanal utilizando la escala de los estados fenológicos definidos por Bagliolini para las yemas de flor de la nectarina (Figura IV.100). No se observaron diferencias fenológicas en la nectarina entre los distintos tratamientos de acolchado del suelo. La evolución media de dichos estados fenológicos para el conjunto de tratamientos de acolchado en los años 2010, 2011 y 2012 se recoge en la Figura IV.101.

En todos los años del ensayo, la floración de la nectarina se inició en las dos primeras semanas de marzo y finalizó a finales de este mes. Durante todo el periodo experimental, no se efectuó el aclareo de flores debido a la escasa floración originada por unas condiciones climáticas desfavorables para una abundante floración y polinización. La fructificación comenzó en la primera quincena de abril y se prolongó hasta finales de este mes. La maduración se produjo a finales de junio en 2010 y 2012, y la maduración comercial del fruto en la primera semana de julio, es decir, cuando el fruto alcanzó la turgencia y textura propia para su cosecha y comercialización. En el 2011, la maduración se produjo a principios del mes de junio y la maduración comercial fue en la segunda quincena de este mes.

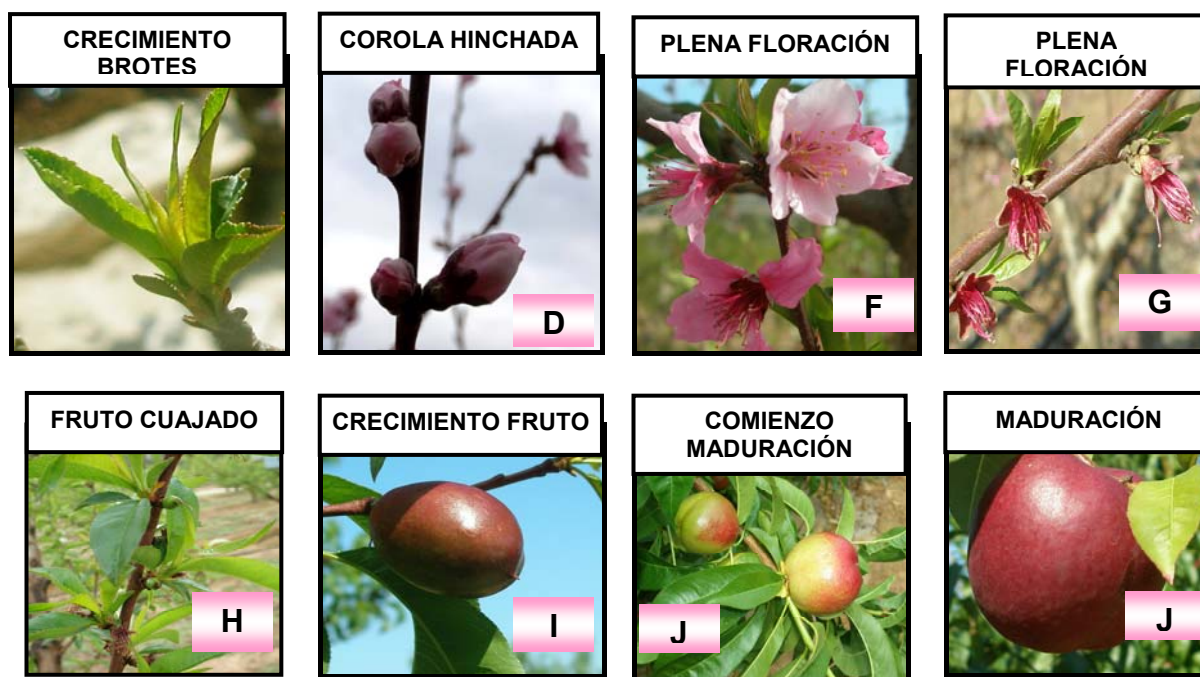


Figura IV.100. Fotografías de los principales estados fenológicos de la nectarina tomados en la parcela experimental de la finca AFRUCCAS. D: corola visible, F: flor abierta, G: caída de pétalos, H: fruto recién cuajado, I: fruto joven, J: evolución de la maduración.

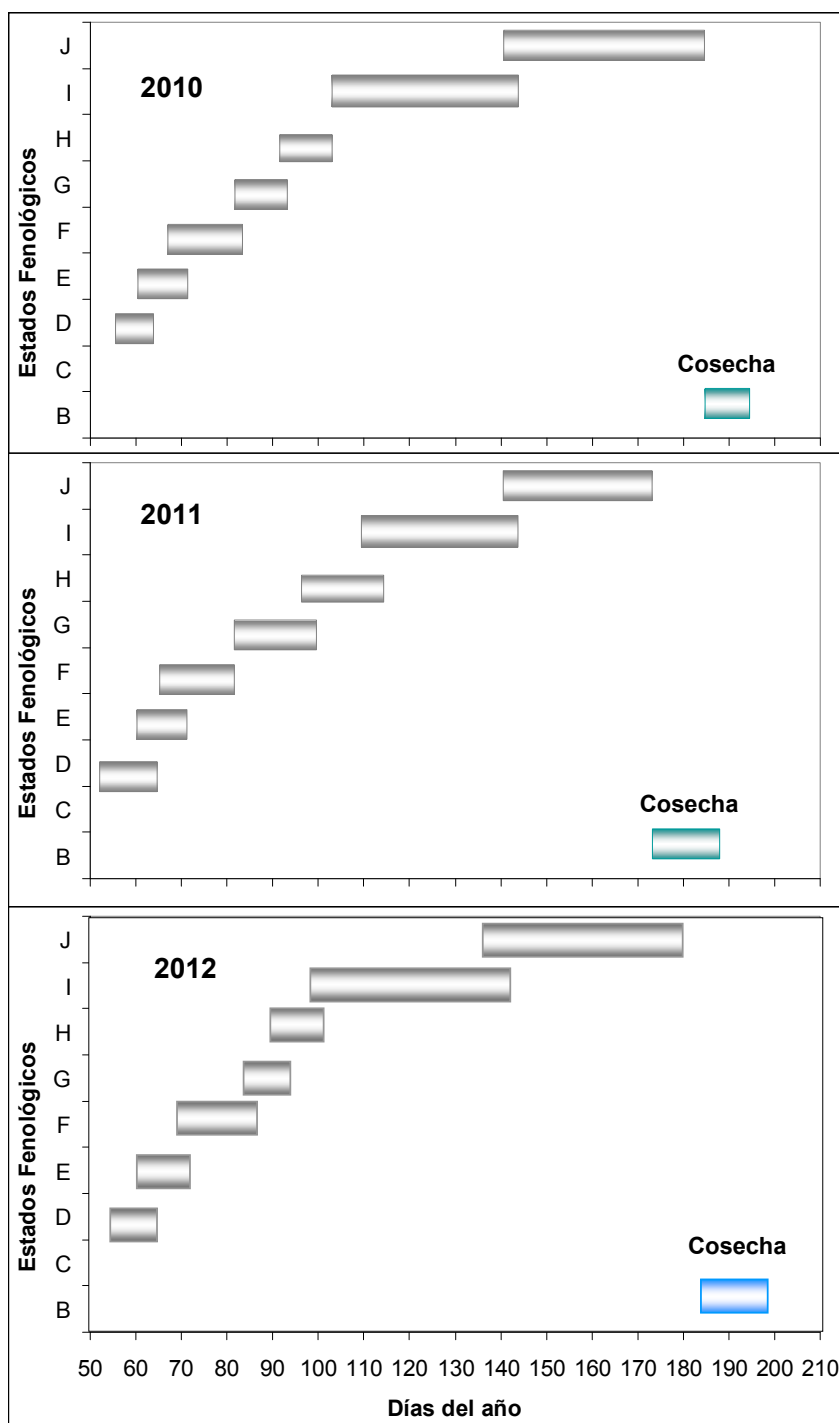


Figura IV.101. Evolución de los estados fenológicos de la nectarina durante los años 2010, 2011 y 2012. Las barras horizontales indican el inicio y final de cada fase fenológica.

IV.3.4.2. PAR interceptado y evapotranspiración

- **PAR interceptado**

La Figura IV.102 (a y b) muestra la evolución del porcentaje de suelo sombreado en los diferentes tratamientos de acolchado a lo largo de la campaña de la nectarina. Cada punto se obtuvo como el promedio de 18 posiciones diferentes del ceptómetro en el marco de plantación de un árbol control de cada tratamiento cubriendo un rectángulo de 2 por 6 m correspondiente al marco de plantación de la nectarina. Los resultados muestran que la

evolución de la cobertura del suelo por la nectarina en todos los tratamientos de acolchado de suelo fue muy similar durante el periodo analizado en los años 2010 y 2011.

La Figura IV.102 (c y d) muestra la evolución del valor medio del suelo sombreado por la nectarina de todos los tratamientos de acolchado de suelo.

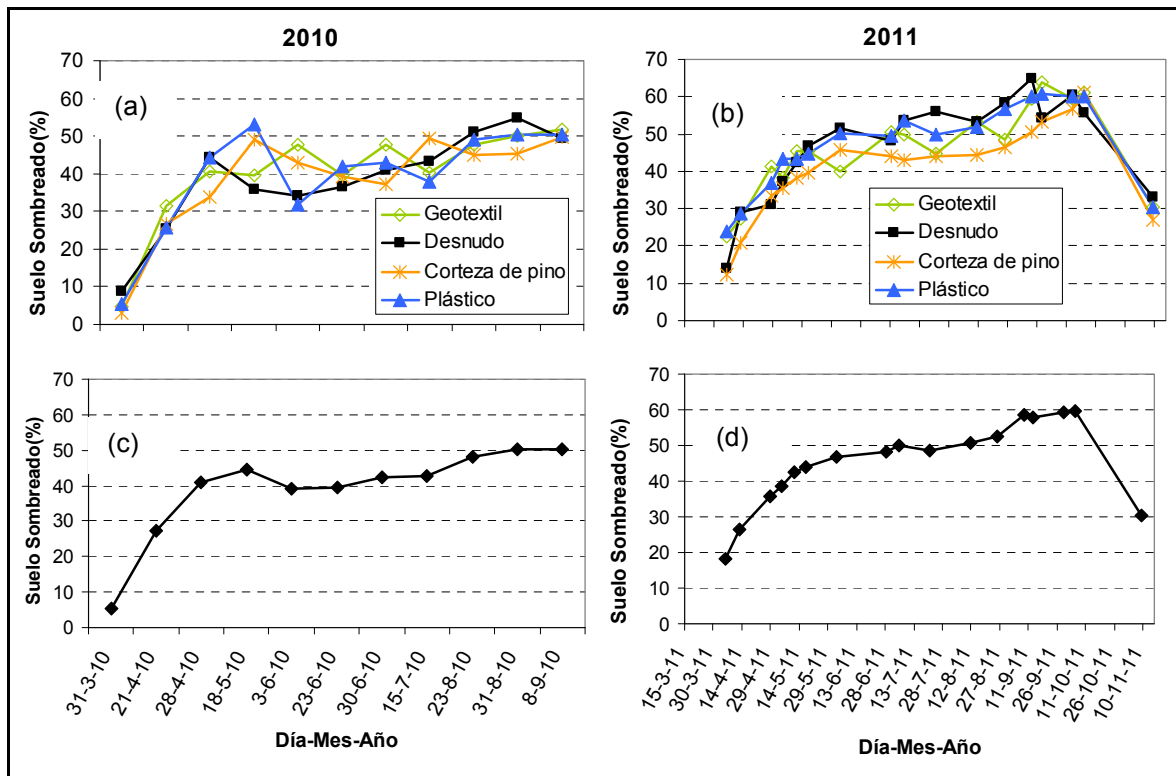


Figura IV.102. Evolución del porcentaje de suelo sombreado de la nectarina en los distintos tratamientos de acolchado (a y b) y del porcentaje de suelo sombreado medio (c y d) a lo largo de las campañas de los años 2010 y 2011.

En 2010, el periodo de medidas de suelo sombreado estuvo comprendido entre el 31 de marzo y el 8 de septiembre. Durante esta campaña los valores del suelo sombreado aumentaron de forma importante hasta el 18 de mayo debido al crecimiento vegetativo de la nectarina y a partir de esta fecha el aumento del suelo sombreado fue muy moderado. En 2011, el periodo de seguimiento del PAR fue del 4 de abril hasta el 9 de noviembre. Los valores del suelo sombreado aumentaron de forma progresiva hasta el mes de junio, luego se mantuvieron constantes o incluso aumentaron de forma moderada en el mes de julio y agosto para disminuir de forma importante en noviembre. Este fuerte descenso del valor del suelo sombreado en noviembre corresponde a la caída de las hojas de la nectarina.

- **Coefficiente del cultivo (Kc)**

Para el cálculo del PAR interceptado se han utilizado las ecuaciones polinómicas de grado 2 obtenidas a partir de los valores medidos del suelo sombreado medio en los 4 tratamientos de acolchado en función del tiempo. Los valores del PAR interceptado desde brotación hasta la floración se han considerado constantes y con un valor medio de 0.161 (tramo horizontal de las figuras correspondientes a los años 2010 y 2011, Figura IV.103). Después de la floración los valores del PAR interceptado aumentaron hasta alcanzar valores máximos en julio (hacia el día juliano 210) y a partir de este mes disminuyeron hasta la caída de hojas (Figura IV.103). Los coeficientes de determinación de las ecuaciones polinómicas de segundo grado del PAR interceptado en función del día juliano tuvieron unos valores de 0.75 y 0.96 en los años 2010 y 2011, respectivamente.

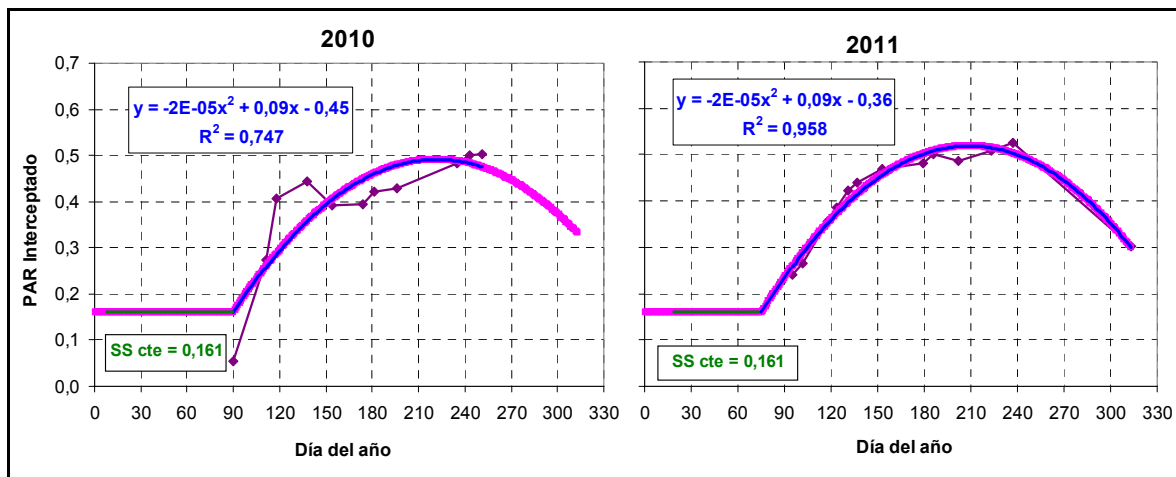


Figura IV.103. Evolución diaria del PAR interceptado medio en tanto por uno estimado en base a las ecuaciones de ajuste del suelo sombreado medido en la nectarina para los años 2010 y 2011.

La Figura IV.104 presenta la evolución del Kc de la nectarina Big Top® en suelo desnudo durante el periodo experimental de 2010 a 2012 calculado con la metodología propuesta en este trabajo en función del PAR interceptado (Ayars et al., 2003) y con los valores medios de Kc propuestos por la FAO para el grupo de frutales caducifolios en el que se engloba la nectarina (FAO, 1998). Los valores de Kc estimados en el presente trabajo para nectarina en suelo desnudo son en general algo inferiores a los de FAO, pero mantienen la misma tendencia.

Los valores de Kc determinados con la metodología de Ayars et al. (2003) en la estación de riego del 2011 y 2012 fueron mayores que en 2010 debido principalmente al aumento del desarrollo vegetativo de las copas, un adelanto de la floración y a las condiciones meteorológicas del año 2011. El Kc inicial fue de 0.35 en los tres años hasta la floración aumentando a partir de la misma hasta valores máximos de 0.90 en 2011 y 2012 y 0.85 en 2010 en el mes de julio. En agosto, el Kc empieza a disminuir hasta finales de septiembre que corresponde con el final de la estación de riego.

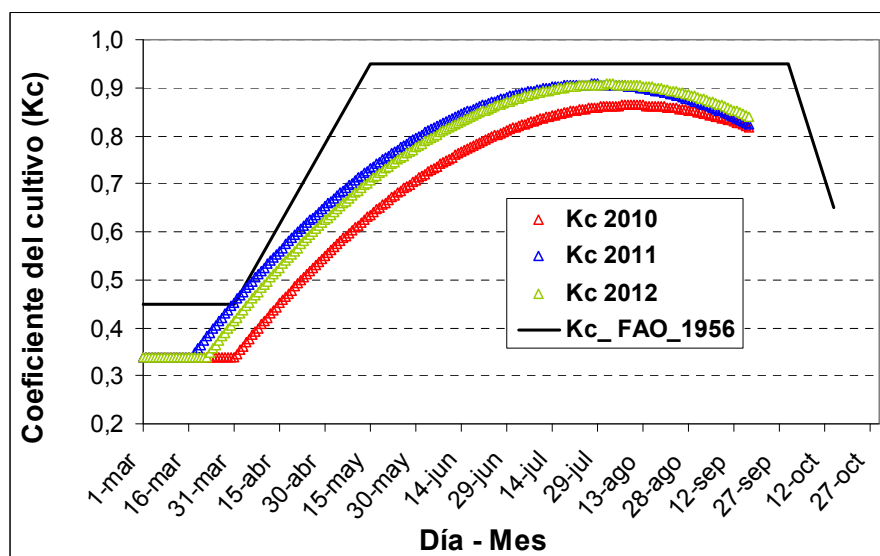


Figura IV.104. Evolución diaria del coeficiente del cultivo (Kc) de la nectarina durante las estaciones de riego de 2010, 2011 y 2012 determinadas con la metodología propuesta por Ayars et al. (2003) utilizada en el presente trabajo y la curva media de Kc de la FAO para frutales caducifolios (FAO, 1998).

• **Evapotranspiración de referencia (ETo) y de la nectarina (ETc)**

Los valores diarios de ETo de marzo a septiembre en 2010, 2011 y 2012 se presentan en la Figura IV.105. Se observa una gran variabilidad de estos valores, que está determinada por la variabilidad de los datos meteorológicos diarios. Se observa que en el mes de marzo se dan los valores mínimos de la ETo que van ascendiendo hacia valores máximos en los meses de verano y después descienden a valores más bajos en septiembre.

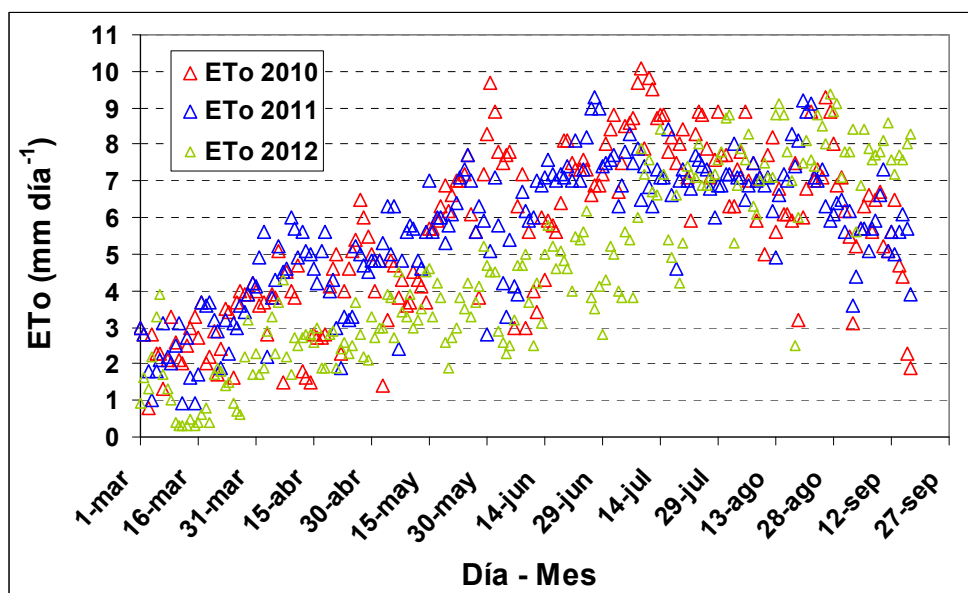


Figura IV.105. Evolución diaria de la evapotranspiración de referencia (ETo) calculada por el método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) en la estación Caspe-red SIAR (MAGRAMA) durante las campañas de riego de la nectarina en los años de 2010 a 2012.

La Tabla IV.53 presenta los valores mensuales de la ETo en los meses de las estaciones de riego de los años 2010, 2011 y 2012. Los valores máximos de la ETo mensual se alcanzaron en los meses de julio y agosto. Los valores acumulados de ETo fueron parecidos durante las estaciones de riego de 2010 y 2011 y más elevados en la estación de riego de 2012.

Tabla IV.53. Valores mensuales de la evapotranspiración de referencia (ETo) calculada por el método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) en la estación Caspe-red SIAR (MAGRAMA) en los meses correspondientes a las estaciones de riego (ER) de los años de 2010 a 2012.

Mes	ETo (mm)		
	2010	2011	2012
Marzo	86.0	83.0	110.3
Abril	115.4	134.1	126.4
Mayo	167.8	174.8	194.3
Junio	195.0	202.9	227.9
Julio	256.3	220.1	238.6
Agosto	215.7	219.5	228.5
Septiembre	139.0	149.3	146.0
Total ER	1175.2	1183.7	1272.0

Sin embargo dado que la precipitación fue de 163.4 mm durante la estación de riego de 2010, 251.6 mm durante la estación de riego de 2011 y 163.7 durante la estación de riego de 2012, el déficit hídrico ($ET_o - P$) fue más alto en 2012 (1108.3 mm) que en 2010 (1011.8 mm) y 2011 (932.1 mm).

La evolución de la ET_c diaria de la nectarina en suelo desnudo siguió la misma tendencia en los tres años del ensayo (Figura IV.106). Al inicio de la estación de riego las ET_c fueron mínimas y no pasaron de 3 mm día⁻¹. Después aumentaron hasta valores máximos en los meses de verano con valores en el entorno de 7 mm día⁻¹. A finales de agosto los valores de ET_c comenzaron una lenta disminución aunque en algunos días se observaron unos valores altos de la ET_c debidos fundamentalmente a aumentos de la temperatura diaria y velocidad del viento.

La Tabla IV.54 presenta los valores mensuales y estacionales de la ET_c , T y E de la nectarina en las campañas de riego de 2010 a 2012 en los tratamientos de suelo desnudo, geotextil de yute, corteza de pino y plástico. Tal como se ha detallado en el capítulo de Material y Métodos, la transpiración (T) se asumió que fue similar en todos los tratamientos (600 mm en 2010, 648 mm en 2011 y 686 mm en 2012). Por el contrario, la evaporación fue diferente en cada tratamiento de acolchado, siendo máxima en el suelo desnudo (257 mm en 2010, 278 mm en 2011 y 294 mm en 2012) y mínima (el 10% de la E del suelo desnudo) en el suelo bajo plástico (26 mm en 2010, 28 mm en 2011 y 29 mm en 2012).

En todos los tratamientos, la ET_c en la estación de riego de 2012 fue mayor que la de 2011 y 2010, debido a la mayor demanda evaporativa (mayor valor de la ET_o en el año 2012) y mayor desarrollo de copa (mayor valor de K_c). La ET_c estacional de la nectarina en el suelo desnudo fue un 3%, 15% y 27% mayor que la ET_c en el geotextil, la corteza de pino y el plástico, respectivamente, debido al descenso de la E en estos tratamientos respecto a la calculada en el suelo desnudo.

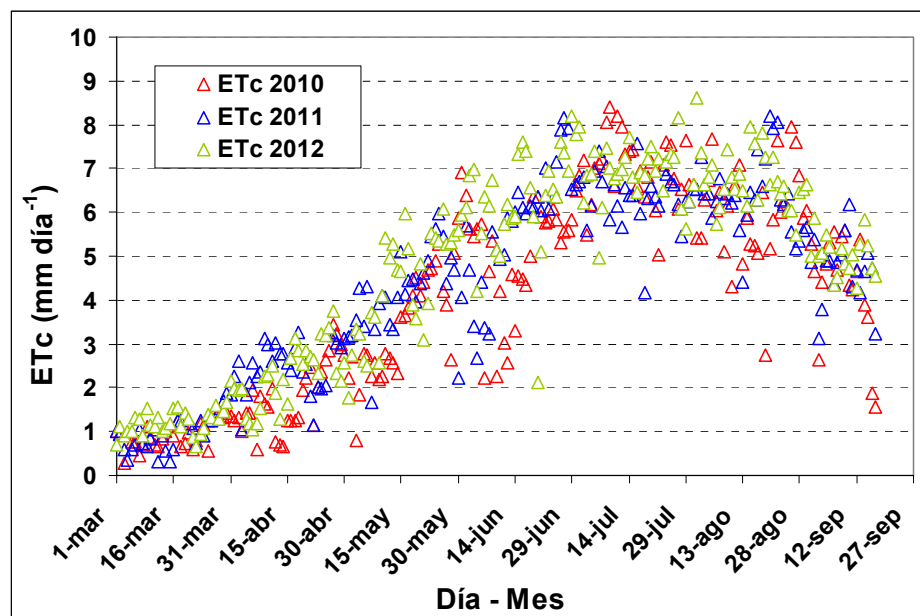


Figura IV.106. Evolución diaria de la ET_c de la nectarina sobre suelo desnudo en los años de 2010 a 2012.

En todos los tratamientos de acolchado los valores máximos de ET_c , T y E se obtuvieron en julio y agosto y los menores en marzo. De hecho, en el mes de marzo el riego fue muy escaso en los años 2010 y 2011 (Figura IV.30) ya que la demanda evaporativa es escasa y además se cuenta con las reservas del agua almacenada en el suelo de las lluvias invernales.

Tabla IV.54. Valores mensuales de la evapotranspiración (ETc), transpiración (T) y evaporación (E) de la nectarina en los tratamientos de acolchado del suelo (desnudo, geotextil, corteza de pino y plástico) en las estaciones de riego (ER) de 2010 a 2012. Se presentan asimismo los valores acumulados en la estación de riegos (ER).

Mes	ETc (mm)			T (mm)			E (mm)		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2011	2012
Mes				Desnudo					
Marzo	29.0	31.1	39.2	20.3	21.8	27.4	8.7	9.3	11.8
Abril	53.2	74.9	68.2	37.3	52.4	47.7	16.0	22.5	20.5
Mayo	109.1	128.7	139.9	76.4	90.1	97.9	32.7	38.6	42.0
Junio	150.2	172.6	190.6	105.1	120.8	133.4	45.1	51.8	57.2
Julio	215.9	198.0	213.9	151.1	138.6	149.7	64.8	59.4	64.2
Agosto	185.4	196.1	205.1	129.8	137.3	143.6	55.6	58.8	61.5
Septiembre	114.4	123.8	123.2	80.0	86.6	86.2	34.3	37.1	37.0
Mes				Geotextil					
Marzo	28.2	30.1	38.0	20.3	21.8	27.4	7.8	8.4	10.6
Abril	51.6	72.7	66.1	37.3	52.4	47.7	14.4	20.2	18.4
Mayo	105.8	124.8	135.7	76.4	90.1	97.9	29.5	34.7	37.8
Junio	145.7	167.4	184.9	105.1	120.8	133.4	40.5	46.6	51.5
Julio	209.4	192.1	207.5	151.1	138.6	149.7	58.3	53.5	57.8
Agosto	179.9	190.2	198.9	129.8	137.3	143.6	50.1	52.9	55.4
Septiembre	110.9	120.1	119.5	80.0	86.6	86.2	30.9	33.4	33.3
Mes				Corteza de pino					
Marzo	24.7	26.4	33.3	20.3	21.8	27.4	4.4	4.7	5.9
Abril	45.3	63.7	58.0	37.3	52.4	47.7	8.0	11.2	10.2
Mayo	92.7	109.4	118.9	76.4	90.1	97.9	16.4	19.3	21.0
Junio	127.6	146.7	162.0	105.1	120.8	133.4	22.5	25.9	28.6
Julio	183.5	168.3	181.8	151.1	138.6	149.7	32.4	29.7	32.1
Agosto	157.6	166.7	174.3	129.8	137.3	143.6	27.8	29.4	30.8
Septiembre	97.2	105.2	104.7	80.0	86.6	86.2	17.2	18.6	18.5
Mes				Plástico					
Marzo	21.2	22.7	28.6	20.3	21.8	27.4	0.9	0.9	1.2
Abril	38.9	54.7	49.8	37.3	52.4	47.7	1.6	2.2	2.0
Mayo	79.6	93.9	102.1	76.4	90.1	97.9	3.3	3.9	4.2
Junio	109.6	126.0	139.1	105.1	120.8	133.4	4.5	5.2	5.7
Julio	157.6	144.5	156.2	151.1	138.6	149.7	6.5	5.9	6.4
Agosto	135.4	143.1	149.7	129.8	137.3	143.6	5.6	5.9	6.2
Septiembre	83.5	90.4	89.9	80.0	86.6	86.2	3.4	3.7	3.7

La suma del volumen de riego y lluvia en la estación de riego de 2011 (928 mm) fue ligeramente mayor que en 2012 (892 mm) y en 2010 (859 mm) (ver apartado IV.3.2.1). Estos valores se aproximan a los valores de ETc de la nectarina en la estación de riego en suelo desnudo para 2010 y 2011 (857 mm y 925 mm respectivamente) y del geotextil (832

mm y 897mm, respectivamente para 2010 y 2012). Sin embargo los valores del riego más la lluvia en la estación de riego de 2012 fueron más bajos que la ETc en 2012 para el suelo desnudo (980 mm) y el geotextil (951 mm). Los valores estacionales del riego más la lluvia fueron superiores a los valores de la ETc en los tratamientos con acolchado de plástico y de corteza de pino en los tres años del ensayo. Dado que todos los tratamientos de acolchado tuvieron la misma dosis de riego, estos resultados sugieren que estas dosis de riego podrían reducirse en estos dos últimos acolchados sin afectar a la transpiración de la nectarina. Estos resultados soportan la idea de que el acolchado reduce la evaporación de agua del suelo lo que afecta significativamente a la evapotranspiración de los cultivos y, por tanto, las necesidades de riego de estos cultivos (Amayreh y Al-Abed, 2004). Además, los resultados de este estudio son concordantes con el estudio reportado por Haddadin y Ghawi (1983) en el que se concluyó que se puede conseguir hasta una reducción del 35% de las necesidades de riego de un cultivo de tomate cultivado en condiciones de campo y bajo coberturas de plástico.

Finalmente, la Tabla IV.55 sintetiza para cada año y tratamiento de acolchado los valores de la evapotranspiración (ETc), transpiración (T) y evaporación (E) de la nectarina en las estaciones de riego (ER, de marzo a septiembre), no riego (NR, en los meses de enero, febrero, y octubre a diciembre) y anual (enero a diciembre). Tal como cabe esperar, todos los valores de ETc, T y E son muy superiores en la estación de riego que en la de no riego. La ETc anual de la nectarina en suelo desnudo fue de 989, 1050 y 1069 mm en 2010, 2011 y 2012, respectivamente. Estos valores reflejan las elevadas necesidades hídricas de la nectarina en esta zona semiárida del bajo Ebro Aragonés que exige aplicaciones de riego capaces de cubrir las mismas para obtener los máximos rendimiento potenciales.

Tabla IV.55. Valores de la evapotranspiración (ETc), transpiración (T) y evaporación (E) de la nectarina en los tratamientos de acolchado del suelo (desnudo, geotextil, corteza de pino y plástico) en las estaciones de riego (ER), no riego (ENR) y anual de 2010 a 2012.

Período	Desnudo			Geotextil			Corteza de pino			Plástico		
	ETc	T	E	ETc	T	E	ETc	T	E	ETc	T	E
2010												
ER	857	600	257	831	600	231	729	600	129	626	600	26
ENR	132	93	40	128	93	36	112	93	20	97	93	4
Anual	989	693	297	959	693	267	841	693	149	723	693	30
2011												
ER	925	648	276	897	648	250	786	648	139	675	648	28
ENR	125	87	37	121	87	34	106	87	19	91	87	4
Anual	1050	735	313	1018	735	284	892	735	158	766	735	32
2012												
ER	980	686	294	951	686	265	833	686	147	715	686	29
ENR	89	62	27	86	62	24	76	62	13	65	62	3
Anual	1069	748	321	1037	748	289	909	748	160	780	748	32
2010-2012												
ER	921	645	276	893	645	249	783	645	138	672	645	28
ENR	115	80	34	112	80	31	98	80	17	84	80	3
Anual	1036	725	310	1005	725	280	881	725	156	756	725	31

Los resultados para el año medio 2010-2012 muestran que los valores de la ETc de la nectarina disminuyen cuando se utilizan acolchados del suelo. Los valores de la ETc para el año medio fueron de 1036 mm para el suelo desnudo, 1005 mm para el geotextil, 881 para la corteza de pino y 756 mm para la lámina de plástico. Las reducciones de la ETc respecto al suelo desnudo fueron del 3% para el geotextil, 15% para la corteza y 27% para el plástico. Estas reducciones de la ETc sugieren que se puede reducir el riego en estos porcentajes si bien hay que tener en cuenta que en el caso del acolchado plástico la contribución de la lluvia está limitada debido a la impermeabilidad de este material.

IV.3.4.3. Densidad de longitud de raíces de la nectarina

IV.3.4.3.1. Año 2010

- **Distribución de la HG**

La Figura IV.107 presenta los mapas de isóneas de la humedad gravimétrica (HG) para las distintas profundidades de suelo muestreadas en una superficie de 100 x 300 cm (X, Y) situada a la izquierda de un árbol control del tratamiento de suelo desnudo (Figura IV.20). En esta superficie se localizan dos goteros en las coordenadas (-50, 50) y (-50, -50) que determinan en gran medida la distribución radial y decreciente de la HG concéntrica a los mismos.

Sin embargo, se observan dos hechos diferenciales en la distribución de la HG para las superficies superior (Y positivo o norte) e inferior (Y negativo o sur) relativas a la posición del árbol (Y = 0): (1) una distribución más concéntrica respecto al gotero en la parte norte y más longitudinal (en la dirección del eje X) en la parte sur, sobre todo para el suelo más superficial, debido a que la línea portagoteros inferior descansa sobre un pequeño surco de unos 5 cm de profundidad que provoca una distribución e infiltración uniforme de agua a lo largo del surco, y (2) una HG más elevada en la parte sur (HG media de todas las profundidades = 17.5%) que en la parte norte (HG media = 14.3%) debido a la existencia de una pendiente del terreno en el sentido norte-sur que provoca un movimiento gravitacional del agua en dicho sentido.

La Tabla IV.56 presenta la estadística básica de la HG para las distintas profundidades de suelo y para la profundidad integrada de 0-60 cm. Se ha seleccionado esta profundidad integrada y no la de 0-80 cm para su comparación con la obtenida en 2011, donde el suelo solo se muestreó hasta los 60 cm de profundidad.

Tabla IV.56. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Humedad gravimétrica del suelo (HG) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 0-60 cm. N = número de observaciones; CV = coeficiente de variación; HG_{mps} = HG media ponderada por la superficie calculada a partir de los mapas de isóneas de HG.

HG (%)	Profundidad de suelo (cm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	0-60
N	65	65	65	65	195
Máximo	26.6	27.8	22.8	26.8	27.8
Mínimo	6.0	9.3	8.2	8.0	6.0
Media	13.8	16.5	16.4	16.7	15.6
CV (%)	42	24	16	25	29
HG _{mps}	14.7	17.3	16.9	17.0	16.3

El máximo valor de la HG fue de 27.8% en la zona situada debajo del gotero a la profundidad 20-40 cm, en la zona sur del árbol, indicando que la humedad del suelo está por

encima de capacidad de campo (CC = 26%) debido a que el muestreo del suelo se hizo en la temporada de riego. El valor más bajo de la HG fue de 6.0% a la profundidad 0-20 cm en la zona norte del árbol a una distancia de 1.5 m del gotero indicando que el suelo estaba muy seco y por debajo del punto de marchitez (PM = 11%). Este valor tan bajo de la HG refleja la elevada evaporación del suelo desnudo en esa posición.

La HG disminuyó con la distancia al gotero. Así, la HG media (0-80 cm de profundidad) en la zona norte fue 19.7% y 15.1% en un radio de 25 y 50 cm desde la posición del gotero, respectivamente. Estos valores fueron 21.1% y 18.4% en la zona sur, respectivamente. Es decir, tal como se ha indicado anteriormente la HG fue ligeramente mayor en el lado sur que en el lado norte por el efecto pendiente señalado.

Respecto a la profundidad del suelo, la HG media del suelo superficial (0-20 cm) fue más baja (13.8%) que la del suelo más profundo (en torno a 16.5% en el resto de profundidades) debido al efecto evaporación anteriormente señalado. El mayor CV del suelo superficial que del suelo profundo puede asimismo atribuirse a la evaporación.

La HG media ponderada por la superficie (HG_{mps}) fue solo ligeramente mayor en todas las profundidades (excepto a 0-20 cm) que la HG media calculada a partir de los valores de HG medidos en las 65 muestras de suelo de cada profundidad (Tabla IV.56). Estos valores similares entre la HG_{mps} y la HG media son lógicos debido a la elevada densidad del muestreo del suelo.

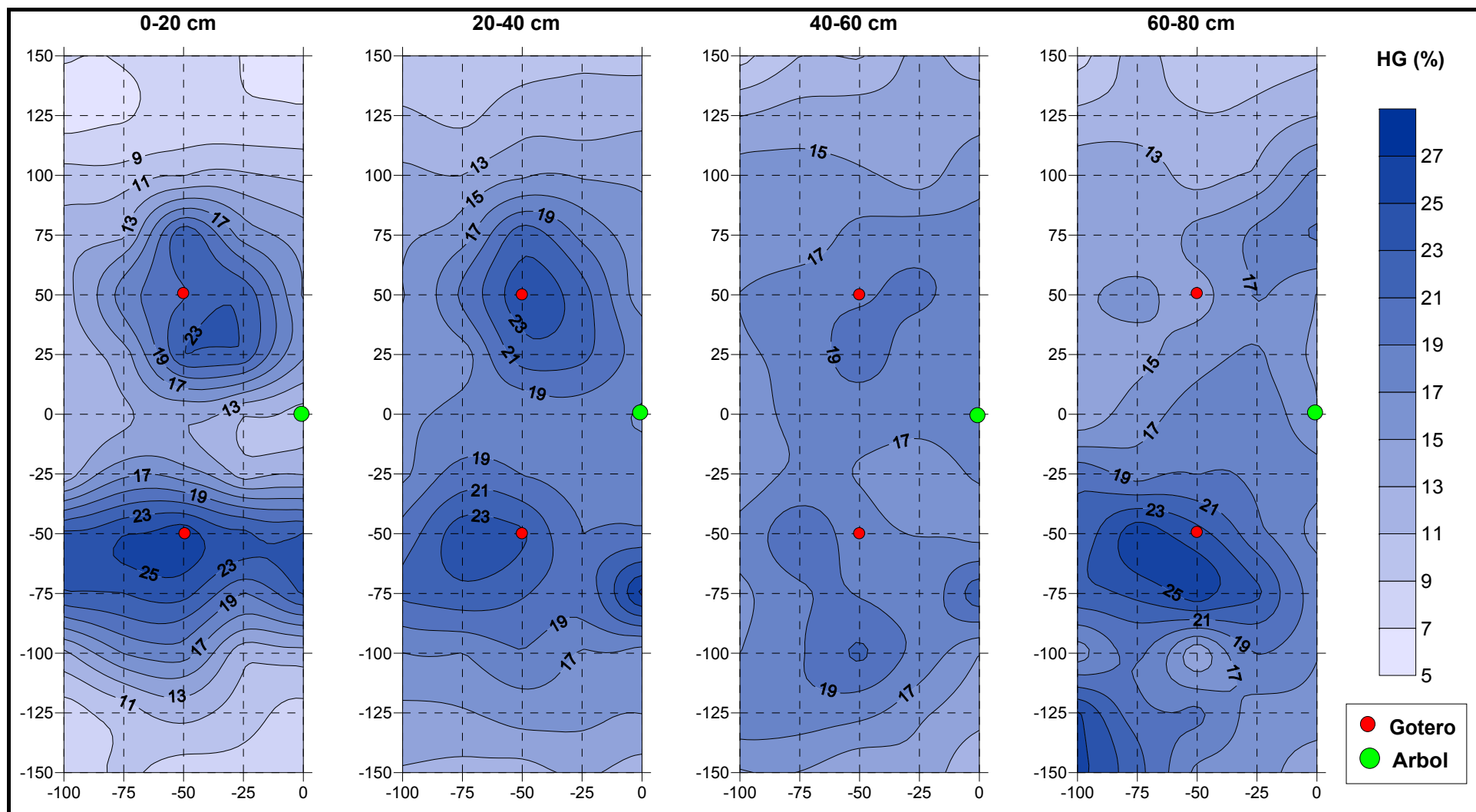


Figura IV.107. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Mapa de isolíneas de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm. Los ejes están expresados en cm, el árbol (en verde) está situado en la coordenada (X, Y) = (0, 0) y los goteros (en rojo) en las coordenadas (-50, -50) y (-50, 50).

- **Distribución de la CEe**

La salinidad de la solución del suelo (expresada por medio de la CEe) depende de (1) el volumen de lluvia y riego que, dadas sus CE relativamente bajas, desplaza y diluye las sales acumuladas a lo largo de la trayectoria de su movimiento en el suelo, (2) la evapoconcentración del agua de riego en el suelo producida por la evaporación del suelo y por la transpiración de las plantas que concentran las sales en la solución del suelo, y (3) la disolución de los minerales presentes en el suelo que incrementan la masa de sales disueltas y, por lo tanto, la concentración de sales en la solución del suelo.

Las dos primeras variables (Riego + Precipitación y ETc) determinan la fracción de lavado que en riego por goteo disminuye radialmente con la distancia al emisor de agua. Dado que la inversa de la FL determina el factor de concentración del agua de riego en el suelo, la CEe tiende a aumentar radialmente con la distancia al gotero, y tiende a ser mayor en el suelo superficial (sujeto a evaporación) y en la zona del suelo donde se solapan los bordes del bulbo húmedo donde menor es la FL y mayor es la concentración de sales.

Los mapas de CEe (Figura IV.108) reflejan en general los procesos anteriormente mencionados, aunque la variabilidad típica de las características del suelo, de la infiltración del agua en el suelo (afectada por la uniformidad del riego y la microtopografía del terreno), y de la arquitectura de las raíces produce una elevada variabilidad de la CEe (CV del 40% para la media de la CEe obtenida con las 195 muestras tomadas hasta la profundidad de 60 cm (Tabla IV.57). A pesar de esta variabilidad, la pauta de los valores de CEe responde en líneas generales a los procesos indicados, de tal manera que la CEe tiende a ser menor en las zonas más próximas a los goteros (valores mínimos de en torno a 2 dS m^{-1}) donde la FL es más alta, y aumenta con la distancia a los goteros (valores máximos de 8 dS m^{-1}) donde la FL es más baja.

La variación de la CEe con la profundidad refleja asimismo los procesos anteriormente mencionados, con un valor medio de 3.5 dS m^{-1} en el suelo superficial (0-20 cm), donde el efecto evaporación contrarresta en parte la mayor FL, que disminuye a 3.3 dS m^{-1} a 20-40 cm y aumenta con la profundidad y la menor FL hasta alcanzar un valor medio de 4.4 dS m^{-1} a 60-80 cm (Tabla IV.57).

La CEe media en la zona norte del árbol control (3.2 dS m^{-1}) fue más baja que en la zona sur (4.0 dS m^{-1}), un resultado contradictorio con el obtenido para la HG, que fue mayor en la zona sur que en la norte. Un resultado similar se obtiene para la CEe media en un radio de 25 cm alrededor del gotero (2.6 dS m^{-1} en el lado norte y 3.4 dS m^{-1} en el lado sur) y para la CEe media en un radio de 50 cm alrededor del gotero (3.8 dS m^{-1} en el lado norte y 4.0 dS m^{-1} en el lado sur). Por lo tanto, el aumento de la CEe con la distancia al gotero es consistente con los procesos indicados anteriormente, pero la mayor CEe en la zona sur que en la zona norte es contradictoria con dichos procesos. La mayor evaporación del agua presente en el surco practicado en el lado sur y la consiguiente mayor CEe del suelo superficial (Figura IV.108) podría explicar en parte esta discrepancia.

Finalmente, la CEe media ponderada por la superficie (CEe_{mps}) fue sensiblemente similar a la CEe media de las 65 muestras tomadas a cada profundidad de suelo (Tabla IV.57) debido, al igual que para la HG, a la elevada densidad de muestreo.

Tabla IV.57. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CEe) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 0-60 cm. N = número de observaciones; CV = coeficiente de variación; CEe_{mps} = CEe media ponderada por la superficie calculada a partir de los mapas de isolíneas de CEe.

CEe (dS/m)	Profundidad de suelo (cm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	0-60
N	65	65	65	65	195
Máximo	6.9	6.0	6.5	7.6	6.9
Mínimo	0.7	1.0	1.2	1.1	0.7
Media	3.5	3.3	3.5	4.4	3.5
CV (%)	46	36	38	30	40
CEe _{mps}	3.7	3.3	3.4	4.3	3.5

Desde el punto de vista de la respuesta de las plantas a la salinidad edáfica, no existe un consenso generalizado acerca de la variable de salinidad a seleccionar. En sistemas de riego como inundación y aspersión en los que se establece típicamente una salinidad horizontal uniforme y una salinidad vertical creciente con la profundidad, se acepta que la CEe media de la zona de raíces ponderada en el tiempo es la que mejor representa la salinidad efectiva a la que se ven sujetas las plantas. Sin embargo, otros autores indican que la CEe media ponderada por la tasa de extracción o la CEe mínima de la zona de raíces representan mejor dicha salinidad efectiva (Shalhevet, 1994). Asimismo, cabe señalar que la CEe es una medida indirecta de la salinidad de la solución del suelo, por lo que la CE de la solución del suelo sería una variable más adecuada que la CEe para expresar la salinidad efectiva.

Estas consideraciones adquieren todavía una mayor importancia en riego por goteo, donde la variabilidad espacial horizontal y vertical de la salinidad es típicamente muy elevada (Figura IV.108). Por ello, desde el punto de vista de la respuesta de la nectarina a la salinidad edáfica y su descenso potencial de rendimiento debido a estrés osmótico, se han seleccionado dos superficies de suelo (Tabla IV.58): (1) la superficie completa muestreada (3 m², Figura IV.20) en la que se tomaron 65 muestras a cada profundidad, y (2) la superficie de 0.25 m² más próxima a cada gotero en la que se tomaron un total de 18 muestras de suelo (9 alrededor de cada gotero). Por otro lado, para cada profundidad muestreada y para la profundidad integrada de 0-60 cm, se han seleccionado tres CEe (Tabla IV.58): (1) la CEe media aritmética (CEe_{ma}) medida en todas las muestras, (2) la mínima CEe (CEe_{min}) medida en las muestras de suelo (se ha calculado la media de los tres valores mínimos y no solo la del mínimo para promediar de forma más consistente estos valores mínimos), y (3) la CEe media ponderada por la densidad de longitud de raíces (CEe_{mpr}). No se ha incluido en esta tabla la CEe_{mps} por ser similar a la CEe media.

De esta manera se tiene un espectro de salinidades edáficas con las que se puede calcular la respuesta de la nectarina a la salinidad del suelo utilizando la función propuesta por FAO para melocotonero (la función para nectarina no se recoge en FAO):

$$Y_r = 100 - 21 (CEe - 1.7) \quad (5)$$

donde Y_r es el rendimiento relativo, 21 es la pendiente en % por incremento de 1 dS m⁻¹, 1.7 es la CEe umbral en dS m⁻¹, y CEe es la salinidad del suelo a la que “efectivamente” se ve sujeta la planta.

Así, en función de la CEe seleccionada, Y_r varía considerablemente:

- (1) Para la profundidad de 0-60 cm y la superficie de 3 m², la CEe_{ma} y la CEe_{mpr} tienen un valor parecido de 3.5 dS m⁻¹ con el que la Y_r sería del 61%, equivalente a un descenso del rendimiento del 39%.

- (2) Para la profundidad de 0-60 cm y la superficie de 0.25 m², la CEE_{ma} y la CEE_{mpr} tienen un valor parecido de 3.0 dS m⁻¹ con el que la Y_r sería del 71%, equivalente a un descenso del rendimiento del 29%.
- (3) Para la mínima CEE_{min} de 1.1 dS m⁻¹ (superficie de 3 m²) y de 1.7 dS m⁻¹ (superficie de 0.25 m²) para la profundidad integrada de 0-60 cm, la Y_r sería del 100% (descenso del rendimiento del 0%).

Tabla IV.58. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Salinidad del suelo expresada en base a la CEE media aritmética (CEE_{ma}), la mínima CEE (CEE_{min}) medida en tres muestras de suelo, y la CEE media ponderada por la densidad de longitud de raíces (CEE_{mpr}) para la superficie total muestreada de 3 m² y para la superficie de 0.25 m² muestreada junto a los dos goteros. N = número de muestras tomadas en cada profundidad muestreada.

	Superficie = 3 m ²				Superficie = 0.25 m ²					
	Profundidad de suelo (cm)				Profundidad de suelo (cm)					
	0-20	20-40	40-60	60-80	0-60	0-20	20-40	40-60	60-80	0-60
N	65	65	65	65	195	18	18	18	18	54
CEE _{ma}	3.5	3.3	3.5	4.4	3.5	3.8	2.8	2.8	3.7	3.1
CEE _{min}	0.8	1.3	1.3	1.6	1.1	1.9	1.7	1.4	1.6	1.7
CEE _{mpr}	3.7	3.3	3.5	4.1	3.6	3.6	2.7	2.8	3.6	3.0

Estos resultados indican que en función de la CEE seleccionada, las pérdidas previstas de rendimiento varían desde un valor elevado del 39% para toda la superficie y la profundidad integrada de 0-60 cm, hasta un valor nulo para la mínima CEE medida en la zona de raíces. Asimismo, estos resultados indican que los valores de CEE_{ma} y CEE_{mpr} fueron muy similares en todos los casos, lo que sugiere que las raíces no se desarrollaron más en las zonas de menor salinidad, ya que en este caso la CEE_{mpr} habría sido claramente inferior a la CEE_{ma}. Sin embargo, dado que este muestreo se efectuó en una sola fecha no es posible determinar la dinámica temporal del crecimiento de raíces y el efecto de la dinámica temporal de la salinidad sobre el mismo.

Este resultado ilustra acerca de la dificultad de cuantificar la respuesta de las plantas a la salinidad edáfica en riego por goteo, dada la elevada variabilidad horizontal y vertical de la salinidad en la zona de raíces y la incertidumbre acerca de la zona de absorción preferente de la solución del suelo dentro de la zona de raíces. Por ello, es preferible cuantificar la respuesta de las plantas en base a la CEE media ponderada por la tasa de absorción de las raíces (CEE_{mpr}) en lugar de en base a la CEE media o la CEE_{mps}.

Aunque la relación entre la producción de nectarina y la salinidad del suelo se detalla en otro apartado de esta Tesis, cabe indicar que las producciones de la plantación donde se ha realizado este trabajo son aparentemente similares a las obtenidas en otras plantaciones de la zona de Caspe, lo que sugiere que la nectarina no se ha visto negativamente afectada por la salinidad edáfica.

En base a esta apreciación, cabría especular que la salinidad mínima medida en la zona de raíces de la nectarina, similar a la CE del agua de riego de en torno a 1.2 dS m⁻¹, sería la más adecuada para representar la salinidad efectiva. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que dicha salinidad media mínima se ha obtenido a partir de tres muestras de suelo que es un pequeño volumen de suelo. Cabe pensar que la nectarina debe necesariamente extraer el agua de un volumen mayor de suelo que tendría una mayor salinidad que dicha mínima.

- **Distribución de la DLR**

La Tabla IV.59 presenta la estadística básica de la DLR para las cuatro profundidades de suelo analizadas y la Figura IV.109 presenta los mapas de las isolíneas de la DLR.

La DLR media para todas las muestras (260) fue de 0.8 cm cm^{-3} con un máximo de 6.7 cm.cm^{-3} medido junto al gotero norte a 0-20 cm de profundidad y un mínimo de 0 cm cm^{-3} medido a todas las profundidades en puntos generalmente alejados de los goteros (Figura IV.109). Los valores más altos se midieron generalmente junto a los goteros y en la proximidad del árbol. La DLR disminuyó de forma muy relevante con la profundidad de suelo, ajustándose a una función logarítmica altamente significativa (Figura IV.110). Así, la DLR media a 0-20 cm (1.8 cm cm^{-3}) fue 9 veces mayor que a 60-80 cm (0.2 cm cm^{-3}).

Respecto a la DLR total de 3.2 cm cm^{-3} (suma de las DLR medidas a cada profundidad), el modelo de extracción (asumiendo que extracción \approx DLR) para los cuatro cuartos de la zona de raíces fue 56%-25%-12%-6% (Tabla IV.59). Este modelo contrasta con el modelo 40%-30%-20%-10% propuesto por FAO para riego convencional (de menor frecuencia de riego que el de goteo de frecuencia diaria), y apoya la idea de que la salinidad de la parte superior de la zona de raíces (0-20 cm) es determinante ya que la mayor tasa de extracción se produce de esa zona.

Tabla IV.59. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Densidad de longitud de raíces (DLR) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 0-60 cm. N = número de observaciones; CV = coeficiente de variación; DLR_{mps} = DLR media ponderada por la superficie calculada a partir de los mapas de isolíneas de DLR. Se presenta asimismo en paréntesis el porcentaje de la DLR total medido a cada profundidad.

DLR (cm/cm^3)	Profundidad de suelo (cm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	0-60
N	65	65	65	65	195
Máximo	6.7	4.1	2.8	1.0	6.7
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Media	1.8	0.8	0.4	0.2	1.0
(% de DLR total)	(56%)	(25%)	(12%)	(6%)	-
CV (%)	88	96	107	79	116
DLR_{mps}	1.9	0.9	0.4	0.3	1.0

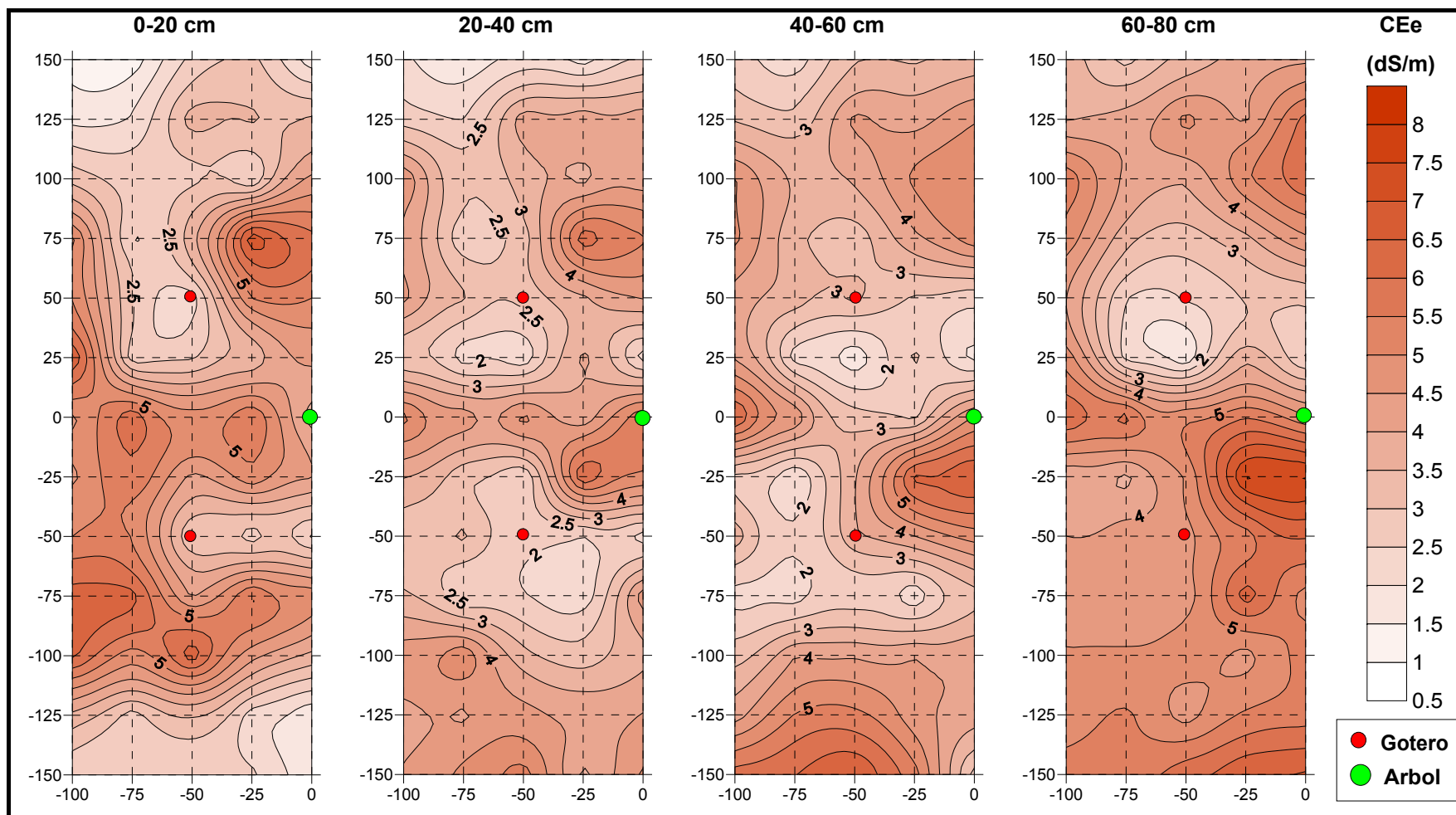


Figura IV.108. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Mapa de isolíneas de la conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CEe) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm. Los ejes están expresados en cm, el árbol (en verde) está situado en la coordenada (X, Y) = (0, 0) y los goteros (en rojo) en las coordenadas (-50, -50) y (-50, 50).

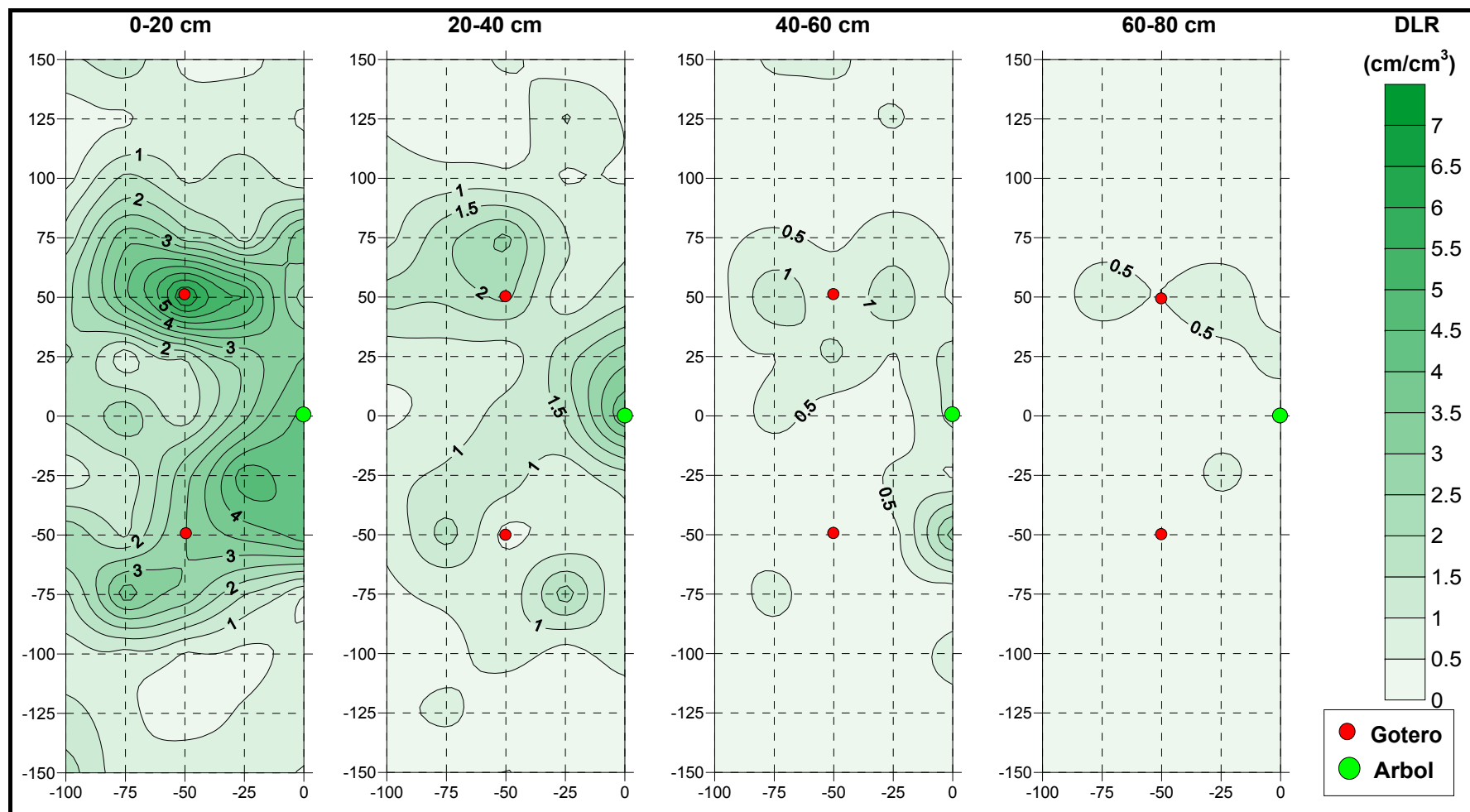


Figura IV.109. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Mapa de isóneas de la densidad de longitud de raíces (DLR) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm. Los ejes están expresados en cm, el árbol (en verde) está situado en la coordenada (X, Y) = (0, 0) y los goteros (en rojo) en las coordenadas (-50, -50) y (-50, 50).

La DLR media en un radio de 25 cm alrededor del gotero fue 1.5 cm cm⁻³ en la zona norte y 1.1 en la zona sur, mientras que a 50 cm alrededor del gotero fue 0.8 cm cm⁻³ en la zona norte y 0.6 cm cm⁻³ en la zona sur. Es decir, la DLR disminuyó con la distancia al gotero y fue siempre mayor en la zona norte que en la sur.

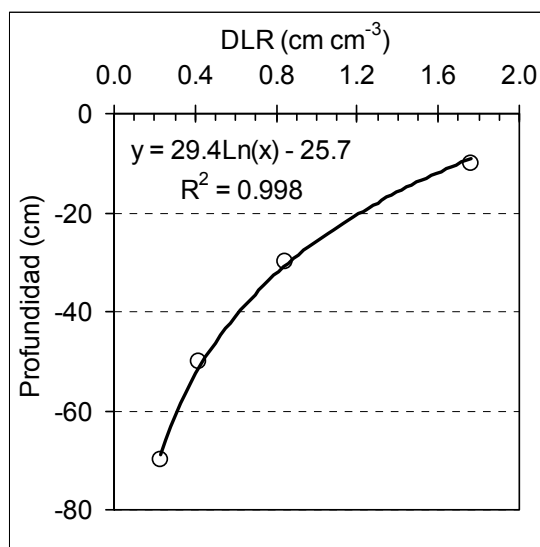


Figura IV.110. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Relación y regresión logarítmica entre la densidad de la longitud de raíces (DLR) y la profundidad del suelo. Cada punto es la media de 65 medidas.

• **Relaciones DLR-HG-CEe**

La Figura IV.111 presenta la combinación tridimensional de los mapas de isolíneas de HG, CEe y DLR obtenidos para las profundidades de suelo de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm en una superficie de 3 m² muestreada a la izquierda de un árbol control de nectarina.

Se estudiaron las relaciones entre DLR y HG (Tabla IV.60) y entre DLR y CEe (Tabla IV.61) mediante análisis de regresión lineal.

DLR vs. HG

La DLR tiende a aumentar con la HG, pero la regresión lineal entre ambas variables solo es significativa (P<0.05) para las profundidades de 0-20 y 20-40 cm (Tabla IV.60). Este resultado indica que las raíces tienden a acumularse en las zonas de mayor humedad del suelo más superficial, pero no en las del suelo más profundo.

Tabla IV.60. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Ecuaciones de regresión lineal y coeficiente de determinación (R²) entre DLR y HG obtenidas con las 65 muestras de suelo analizadas en cada profundidad de suelo. Niveles de significación de R²: *** <0.001; ** <0.01; * <0.05; ^{ns} no significativo a P > 0.05.

DLR (cm cm ⁻³) = a + b HG (%)					
Profundidad de suelo (cm)					
	0-20	20-40	40-60	60-80	0-60
a	0.12	0.07	0.02	0.05	0.06
b	0.08	0.27	0.12	0.31	0.15
R ²	0.24**	0.13**	0.01 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.05

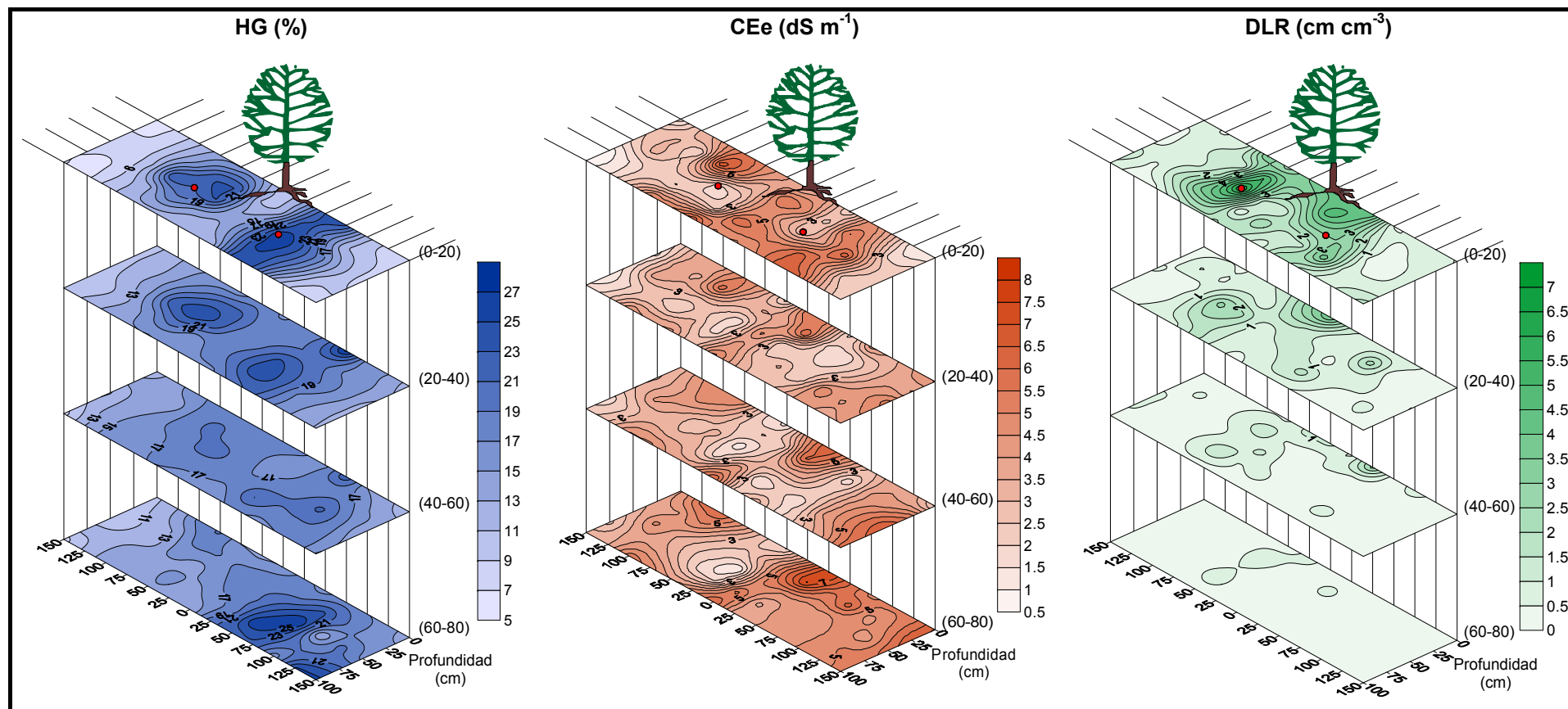


Figura IV.111. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Combinación tridimensional de los mapas de isolíneas de HG, CEe y DLR.

DLR vs. CEe

La DLR y la CEe no están correlacionadas, salvo para la mayor profundidad de suelo (60-80 cm) donde están pobremente correlacionadas ($P < 0.05$) (Tabla IV.61). Este resultado indica que las raíces no tendieron a acumularse en las zonas de menor salinidad, a pesar de que visualmente (Figura IV.111) parece observarse una mayor DLR cerca de los goteros, donde la CEe es menor. Sin embargo, el efecto árbol parece también ser importante, ya que cerca del mismo la DLR es alta a las profundidades de 0-20 y 20-40 cm y coincide con una zona de CEe relativamente elevada a dichas profundidades (Figura IV.111).

Tabla IV.61. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Ecuaciones de regresión lineal y coeficiente de determinación (R^2) entre DLR y CEe obtenidas con las 65 muestras de suelo analizadas en cada profundidad de suelo. Niveles de significación de R^2 : *** < 0.001 ; ** < 0.01 ; * < 0.05 ; ^{ns} no significativo a $P > 0.05$.

DLR (cm cm^{-3}) = a + b CEe (dS m^{-1})					
	Profundidad de suelo (cm)				
	0-20	20-40	40-60	60-80	0-60
a	0.12	-0.001	-0.01	-0.04	0.06
b	1.33	0.84	0.44	0.39	0.80
R^2	0.02 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.07*	0.00 ^{ns}

Perfiles de DLR, HG y CEe

La Figura IV.112 presenta los mapas de isóneas de HG, CEe y DLR para el perfil de suelo de 0-80 cm en un corte este-oeste bajo la línea de goteros situada en el lado norte del árbol. Los resultados son consistentes con lo esperado en riego por goteo: isóneas concéntricas con el gotero, y con valores máximos de HG y DLR y mínimos de CEe debajo del mismo que disminuyen (HG y DLR) y aumentan (CEe) radialmente con la distancia al gotero. Por otro lado, se observa que la distribución de HG y DLR concéntrica al gotero es mucho más regular que la de CEe, y que la DLR por debajo de 60 cm de profundidad tiene un valor muy bajo ($< 1 \text{ cm cm}^{-3}$).

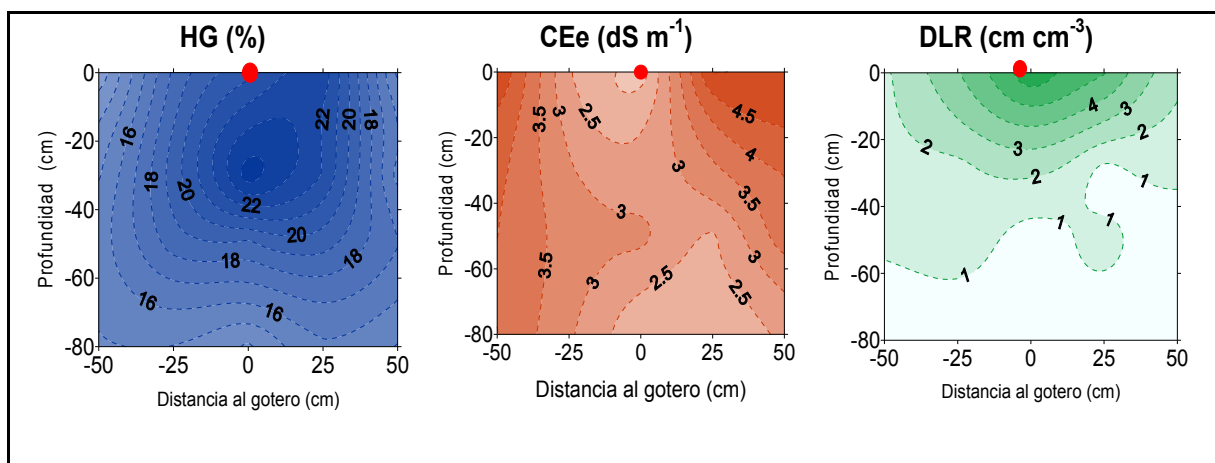


Figura IV.112. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Isóneas de HG, CEe y DLR para la profundidad de suelo de 0-80 cm obtenidas en un corte este-oeste bajo la línea norte de goteros. El punto rojo es la posición del gotero.

Dado que según esta figura parece existir, al menos para el suelo más superficial, una cierta concordancia espacial entre los valores elevados de DLR y HG y los valores bajos de CEe,

se han estimado estas tres variables en los nodos de una cuadrícula de 5 x 5 cm para el corte de -50 a + 50 cm (eje X) y la profundidad de 0 a -20 cm (eje Y). El total de nodos es por lo tanto de 21 (eje X) x 5 (eje Y) = 105.

La Figura IV.113 presenta para las profundidades de suelo de 0, 5, 10, 15 y 20 cm, las relaciones entre DLR y HG estimadas en los nodos indicados anteriormente. En esta figura, las observaciones a cada profundidad situadas más a la derecha (valores más elevados de HG) corresponden a la posición del gotero y los dos brazos con disminución creciente de la HG de derecha a izquierda corresponden a distancias crecientes a ambos lados de la posición del gotero.

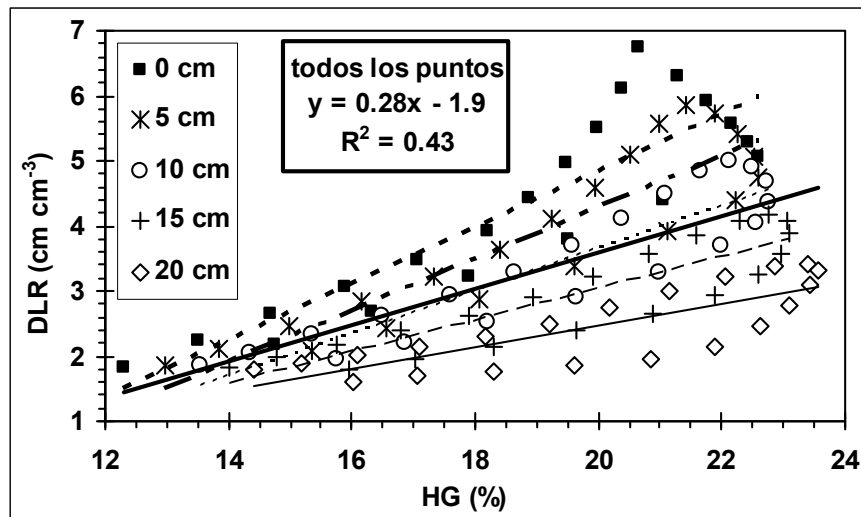


Figura IV.113. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Relaciones en cinco profundidades del suelo (0, 5, 10, 15 y 20 cm) entre DLR y HG estimadas de las isóneas de la Figura IV.112 en los nodos de una cuadrícula de 5 x 5 cm. Se presenta asimismo la ecuación de regresión lineal para el conjunto de puntos.

Los resultados de esta figura se sintetizan en los siguientes puntos:

- (1) Para las posiciones más alejadas del gotero (puntos situados a la izquierda en la figura), las observaciones de todas las profundidades convergen hacia valores mínimos de HG de en torno al 13% y valores mínimos de DLR de en torno a 1.5 cm cm⁻³.
- (2) Las líneas de la regresión lineal DLR-HG señaladas en la figura para cada profundidad tienen pendientes crecientes conforme más superficial es el suelo, de tal manera que la tasa de aumento de DLR por incremento unidad de HG es mayor conforme menor es la profundidad del suelo. Es decir, la DLR depende tanto de la HG como de la profundidad de suelo, y es tanto mayor conforme mayor es la humedad y menor es la profundidad, un resultado coherente en sistemas de riego localizado de alta frecuencia como es el caso de este trabajo (riego por goteo con aplicaciones diarias).
- (3) La regresión lineal DLR-HG para el conjunto de observaciones es positiva (pendiente = 0.28) y altamente significativa ($P < 0.001$), indicando la estrecha correlación entre estas variables en la sección de suelo analizada debajo de la línea de goteros.

Aunque estos resultados pueden ser cuantitativamente diferentes en otras posiciones del suelo, los mismos confirman conceptualmente que el riego por goteo impone en el suelo unas distribuciones radiales centradas en el punto de emisión de agua que implican

descensos de humedad y de densidad de raíces conforme nos alejamos de dicho punto de emisión.

La Figura IV.114 presenta para las profundidades de suelo de 0, 5, 10, 15 y 20 cm, las relaciones entre DLR y CEe estimadas en los nodos indicados anteriormente. En esta figura, las observaciones a cada profundidad situadas más a la izquierda (valores más bajos de CEe) corresponden a la posición del gotero y los dos brazos con aumento creciente de la CEe de izquierda a derecha corresponden a distancias crecientes a ambos lados de la posición del gotero.

Los resultados de esta figura se sintetizan en los siguientes puntos:

- (1) Para las posiciones más alejadas del gotero (puntos situados a la derecha en la figura), las observaciones de todas las profundidades (excepto la de 0 cm) convergen hacia valores máximos de CEe de en torno a 4.5-5.0 dS m^{-1} y valores mínimos de DLR de en torno a 1.5 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. En la superficie del suelo (0 cm), la CEe en los nodos entre 25 y 50 cm (Figura IV.112) adquiere un valor fijo de 5 dS m^{-1} (cuadrados negros verticales situados a la derecha en la figura) debido al intervalo seleccionado de 0.5 dS m^{-1} entre isolíneas.
- (2) Las líneas de la regresión lineal DLR-CEe señaladas en la figura tienen pendientes similares para las distintas profundidades de suelo, de tal manera que la tasa de aumento de DLR por descenso unidad de CEe es similar a cualquier profundidad de suelo. Esta figura indica que la DLR es tanto mayor conforme menor es la salinidad y la profundidad de suelo.
- (3) La regresión lineal DLR-CEe para el conjunto de observaciones es negativa (pendiente = -0.76) y altamente significativa ($P < 0.001$), indicando la estrecha correlación entre estas variables en la sección de suelo analizada debajo de la línea de goteros.

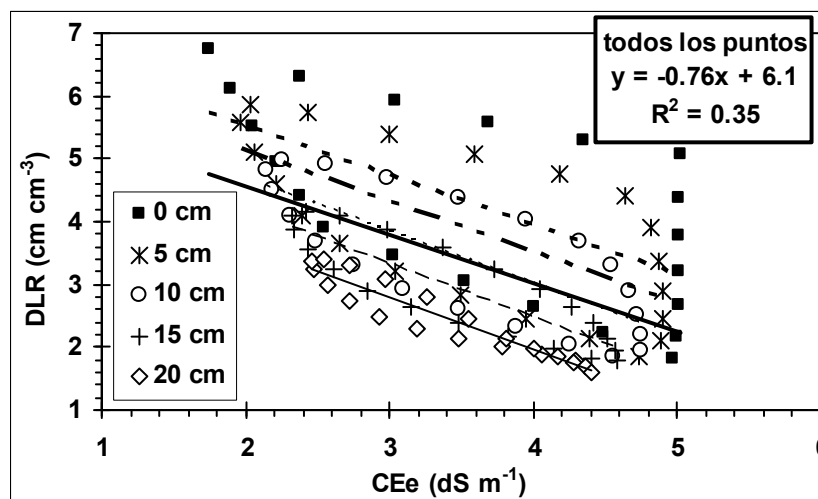


Figura IV.114. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Relaciones en cinco profundidades del suelo (0, 5, 10, 15 y 20 cm) entre DLR y CEe estimadas de las isolíneas de la Figura IV.112 en los nodos de una cuadrícula de 5 x 5 cm. Se presenta asimismo la ecuación de regresión lineal para el conjunto de puntos.

Estos resultados pueden ser diferentes en otras posiciones del suelo donde las sales acumuladas no se lavan en cada evento de riego como lo hacen en la sección analizada que se localiza bajo la línea de goteros. De cualquier forma, los resultados confirman conceptualmente que el riego por goteo impone en el suelo unas distribuciones radiales centradas en el punto de emisión de agua que implican aumentos de salinidad y descensos de densidad de raíces conforme nos alejamos de dicho punto de emisión.

Debe tenerse en cuenta que las relaciones DLR-HG y DLR-CEe pueden verse afectadas por la autocorrelación existente entre HG y CEe en la sección analizada debido a que la aplicación diaria de agua por el gotero implica tanto un aumento de la HG como un lavado de sales y, por consiguiente, una menor CEe en la proximidad del gotero. Así, en la sección analizada existe una correlación negativa (significativa a $P < 0.001$) entre los valores estimados de HG y CEe (Figura IV.115a), mientras que tanto para las muestras más próximas a los goteros (Figura IV.115b) como para el conjunto de muestras (Figura IV.115c) no existe tal correlación.

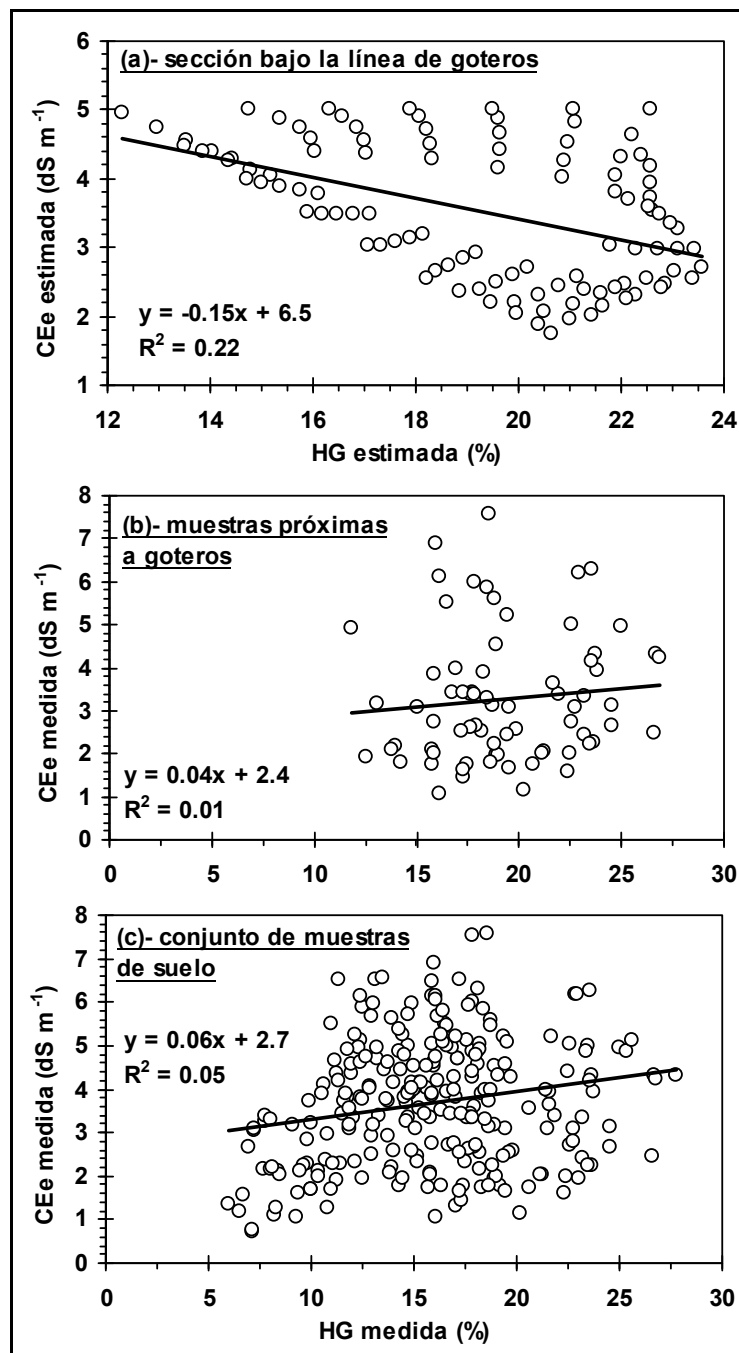


Figura IV.115. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Relaciones y regresión lineal entre (a) CEe y HG estimadas en una sección de suelo de 0-20 cm de profundidad localizada bajo la línea de goteros, (b) CEe y HG medidas en las muestras de suelo próximas a los goteros (72 muestras), y (c) CEe y HG medidas en todas las muestras de suelo (260 muestras).

Mientras DLR y HG están correlacionadas tanto en la sección de suelo analizada (Figura IV.113) como en el suelo más superficial (0-40 cm, Tabla IV.60), DLR y CEe están asimismo correlacionadas en dicha sección de suelo (Figura IV.114), pero no en las muestras de suelo analizadas en cualquier profundidad (Tabla IV.61).

Este resultado sugiere que el crecimiento y acumulación de raíces se produciría preferentemente en las zonas con mayor humedad del suelo (al menos para la profundidad de 0-40 cm), pero no necesariamente en las zonas con menor salinidad. Es decir, no puede concluirse que las raíces escapan de las zonas con mayor salinidad, a pesar de que el resultado obtenido en la sección de suelo bajo la línea de goteros sugiere lo contrario. Probablemente, la autocorrelación existente entre HG y CEe en dicha sección (Figura IV.115a) explica esta aparente contradicción.

Regresión lineal múltiple (RLM) de DLR vs. HG y CEe

Al objeto de profundizar en el peso relativo de HG y CEe sobre DLR, se han efectuado las regresiones lineales múltiples $DLR = f(HG, CEe)$ entre las variables normalizadas para (1) todas las muestras (65 a cada profundidad), (2) las muestras próximas a los dos goteros (18 a cada profundidad), y (3) las 105 estimas obtenidas en la sección del suelo bajo los goteros.

La normalización de las variables se ha efectuado calculando el valor determinado menos la media de la muestra dividido por la desviación estándar de la media. A partir de estas RLM puede analizarse la dependencia de DLR respecto de HG y CEe, cual de las dos variables afecta más a DLR, y en qué zonas del área muestreada existe o no dicha dependencia.

La Tabla IV.62 indica que la DLR solo dependió significativamente de la CEe para la sección vertical de suelo localizada bajo la línea de goteros. En esta sección, el peso relativo de HG (entre 77 y 60%) fue mayor que el peso relativo de CEe (entre 39 y 51%) para el suelo más superficial (0-15 cm), aunque fue disminuyendo con la profundidad hasta que a 20 cm de profundidad el peso relativo de CEe (72%) superó al de HG (32%).

Los signos de los coeficientes son consistentes con lo esperado, de tal manera que DLR está positivamente correlacionada con HG y negativamente correlacionada con CEe. Los valores de R^2_{aj} para esta sección indican que la varianza de ambas variables es capaz de explicar en su práctica totalidad la varianza de DLR.

Las RLM efectuadas para todas las muestras y para las muestras más próximas a los goteros indican que la CEe no fue significativa en ningún caso y que la HG solo fue significativa a $P < 0.01$ para el conjunto de muestras del suelo más superficial (0-20 cm).

Estos resultados coinciden en líneas generales con los presentados anteriormente en el sentido de que la DLR se ve poco afectada en general por la HG y nada afectada por la CEe, excepto en la sección de suelo superficial bajo la línea de goteros, donde la DLR depende significativamente de ambas variables. Probablemente, la presencia del árbol y la elevada DLR existente en sus proximidades puede en parte ser la causa de esta ausencia de correlación de DLR con HG y CEe.

Tabla IV.62. Año 2010 (tratamiento de suelo desnudo). Efecto de HG y CEe sobre DLR a distintas profundidades para (A) todas las muestras de suelo, (B) las muestras de suelo más próximas a los goteros y (C) las estimas en una sección vertical de suelo bajo la línea de goteros: número de puntos (N) y ecuaciones de regresión lineal múltiple de la DLR estandarizada frente a la HG y la CEe estandarizadas. R^2_{aj} = coeficiente de determinación ajustado.

DLR (cm cm ⁻³) = a HG (%) + b CEe (dS m ⁻¹)					
	Prof. (cm)	N	a	b	R ² _{aj}
A Todas las muestras de suelo	0-20	65	0.52**	-0.06 ^{ns}	0.22
	20-40	65	0.36*	0.00 ^{ns}	0.10
	40-60	65	0.11 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	0.00
	60-80	65	-0.06 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	0.04
	0-60	195	0.22*	0.04 ^{ns}	0.04
B Muestras de suelo próximas a goteros	0-20	18	0.04 ^{ns}	-0.24 ^{ns}	0.00
	20-40	18	0.11 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	0.00
	40-60	18	0.40 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.01
	60-80	18	-0.29 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.00
	0-60	54	0.15 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.00
C Estimas en una sección vertical de suelo	0	21	0.77***	-0.39***	0.94
	5	21	0.75***	-0.39***	0.95
	10	21	0.71***	-0.42***	0.96
	15	21	0.60***	-0.51***	0.96
	20	21	0.32***	-0.72***	0.94
	0-20	105	0.46***	-0.39***	0.91

^{ns}No significativo a P> 0.1; *Significativo a P< 0.1; **Significativo a P< 0.01; ***Significativo a P< 0.001

IV.3.4.3.2. Año 2011

De acuerdo con los resultados obtenidos en el año 2010, se cambiaron algunas características en el muestreo de suelo en el año 2011. Así, el muestreo del 2011 se efectuó solamente hasta una profundidad de 60 cm, en un área cuadrada de 1 m de lado situada en el lado norte del árbol y con el gotero en el centro del cuadrado. Los muestreos se efectuaron en un árbol del tratamiento de suelo desnudo distinto al de año anterior (para no verse alterado por el muestreo de 2010) y en otro del tratamiento de acolchado plástico, con 75 muestras de suelo (25 a cada profundidad x 3 profundidades) en cada tratamiento.

Distribución de la HG

La Figura IV.116 presenta los mapas de isolíneas de HG en los tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico para las distintas profundidades de suelo muestreadas en una superficie de 1 m². Las isolíneas de HG a 0-20 cm de profundidad muestran que, tanto para el suelo desnudo como para el plástico, la HG se distribuye en franjas más o menos paralelas a la línea de goteros, y que la HG disminuye con la distancia a la línea. Esto es debido a que en el año 2011 se limpió y amplió el surco donde se encontraba la línea portagoteros para evitar la distribución irregular del agua y su posible escorrentía superficial. Las mayores diferencias de humedad entre ambos tratamientos se observaron en el suelo más superficial.

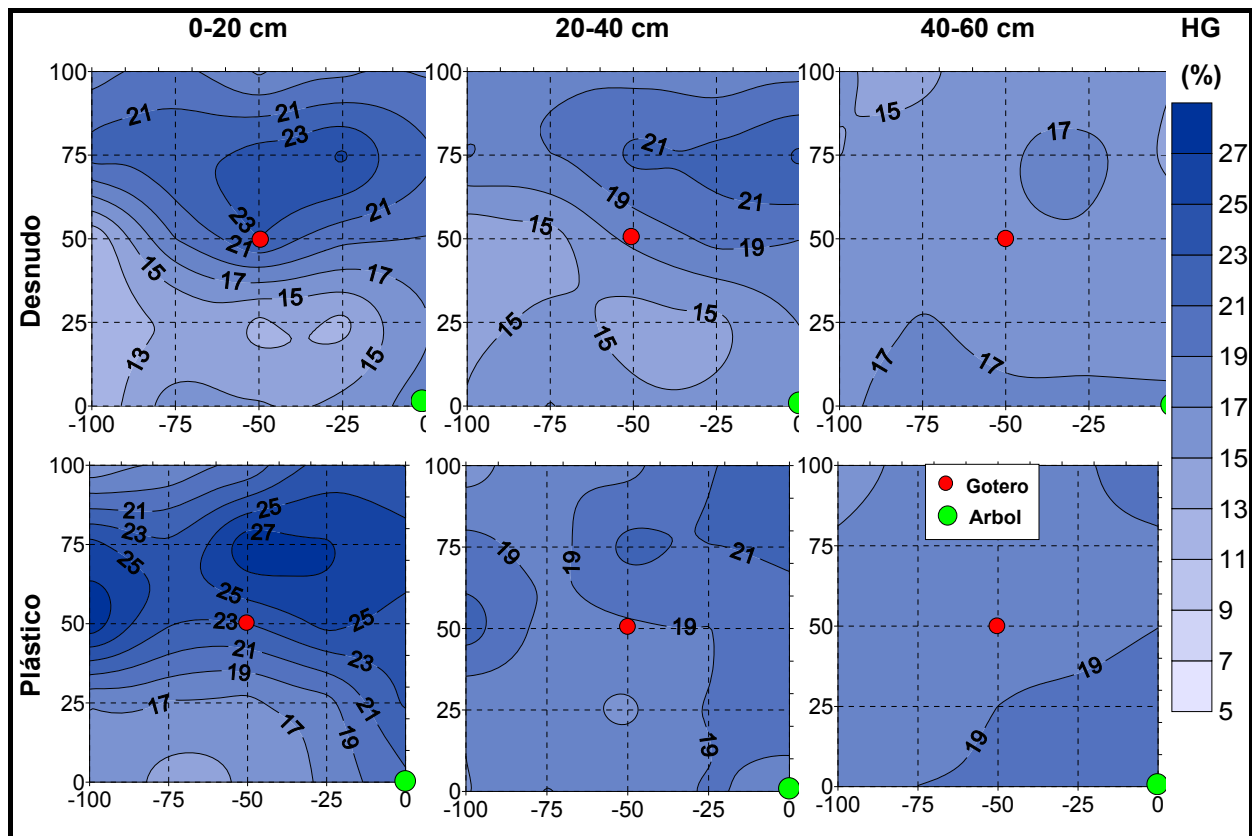


Figura IV.116. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Mapa de isolíneas de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida a las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Los ejes están expresados en cm, el árbol (en verde) está situado en la coordenada (X, Y) = (0, 0) y el gotero (en rojo) en la coordenadas (-50, 50).

La Tabla IV.63 presenta para ambos tratamientos la estadística básica de la HG para las distintas profundidades de suelo y para la profundidad integrada de 0-60 cm. Los valores medios de HG fueron mayores en el tratamiento de acolchado plástico que en el suelo desnudo en todas las profundidades y, en particular en la profundidad de 0-20 cm. Así, el valor medio para la profundidad integrada de 0-60 cm fue un 15% superior en el suelo bajo plástico (HG = 19.7%) que en el suelo desnudo (HG = 17.1%).

Tabla IV.63. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Humedad gravimétrica del suelo (HG) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 0-60 cm. N = número de observaciones; CV = coeficiente de variación; HG_{mps} = HG media ponderada por la superficie calculada a partir de los mapas de isolíneas de HG.

HG (%)	Suelo desnudo				Suelo bajo plástico			
	Profundidad de suelo (cm)				Profundidad de suelo (cm)			
	0-20	20-40	40-60	0-60	0-20	20-40	40-60	0-60
N	25	25	25	75	25	25	25	75
Máximo	25.3	23.4	17.9	25.3	28.5	22.2	20.6	28.5
Mínimo	11.1	13.3	14.4	11.1	14.5	16.0	16.4	14.5
Media	17.7	17.4	16.3	17.1	21.3	19.1	18.6	19.7
CV (%)	23	15	6	17	21	9	5	15
HG_{mps}	18.2	17.4	16.3	17.3	21.8	19.1	18.4	20.0

Este resultado se debe a que el plástico constituye una barrera impermeable a la difusión del vapor de agua hacia la atmósfera que evita o reduce la evaporación directa desde la superficie del suelo. Asimismo, se observa que la variabilidad de la HG fue elevada en superficie (CV del orden del 20%) y mucho más baja en profundidad (CV del orden del 6%).

La HG media ponderada por la superficie (HG_{mps}) fue similar en todas las profundidades (salvo en la de 0-20 cm) a la HG media calculada a partir de los valores de HG medidos en las 25 muestras de suelo de cada profundidad. Estos valores similares entre la HG_{mps} y la HG media son lógicos debido a la elevada densidad del muestreo del suelo.

Los valores de HG obtenidos para el suelo desnudo en 2011 (HG media = 17.1%) fueron superiores a los obtenidos en 2010 (HG media = 15.6%) principalmente debido a la baja HG a 0-20 cm en 2010 (13.8%, frente a 17.7% en 2011), ya que en el resto de profundidades las HG fueron sensiblemente parecidas. Asimismo, debe tenerse en cuenta que en 2010 la superficie muestreada fue mayor y alcanzó en parte las calles donde la humedad es menor.

Distribución de la CEe

La Figura IV.117 presenta los mapas de isolíneas de CEe para las distintas profundidades en los tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico. Al igual que en la distribución de la HG, se observa una cierta disposición en franjas paralelas a las líneas portagoteros, más acusada en el acolchado plástico, y con valores de CEe que tienden a aumentar con la distancia al gotero y a dicha línea. Estos resultados coinciden con los obtenidos en cultivos de viña y manzana regados por goteo en los que se ha observado una acumulación de sales al aumentar la distancia a los goteros (Stevens y Douglas, 1994).

Por razones desconocidas, existe sobre la línea de goteros una zona de elevada salinidad (valores de hasta 12 dS m^{-1}) entre $X = -75$ y -100 cm en superficie (0-20 cm) que también se observa más atenuada a 20-40 cm de profundidad.

La CEe fue bastante similar en las distintas profundidades de cada tratamiento y claramente superior en el suelo desnudo que en el suelo bajo plástico. Así, La Tabla IV.64 indica que para la profundidad acumulada de 0-60 cm, la CEe media del tratamiento desnudo (4.3 dS m^{-1}) fue un 72% mayor que la del suelo bajo plástico (2.5 dS m^{-1}). La CEe mínima fue relativamente similar en ambos tratamientos (1.1 y 0.8 dS m^{-1} en el suelo desnudo y bajo plástico, respectivamente), pero la CEe máxima fue muy superior en el suelo desnudo (12.2 dS m^{-1}) que en el suelo bajo plástico (6.4 dS m^{-1}). Estos resultados muestran la efectividad del acolchado plástico en la reducción de la salinidad del suelo en relación con la que se obtiene en el suelo desnudo.

La CEe_{mps} fue ligeramente mayor que la CEe media en el suelo desnudo, mientras que en el suelo bajo plástico el resultado fue el contrario, probablemente debido a que la CEe máxima fue mucho más elevada en el suelo desnudo. En base a la CEe_{mps} las diferencias entre ambos tratamientos se acrecientan, de tal manera que para la profundidad acumulada de 0-60 cm, la CEe_{mps} media del tratamiento desnudo (4.4 dS m^{-1}) fue el doble de la del suelo bajo plástico (2.2 dS m^{-1}).

La CEe del suelo desnudo fue mayor en 2011 que en 2010 en todas las profundidades muestreadas. Así, para la profundidad integrada de 0-60 cm, la CEe media en 2011 (4.3 dS m^{-1}) fue un 23% mayor que la CEe media en 2010 (3.5 dS m^{-1}). Las razones de estas diferencias pueden atribuirse, al menos en parte, a las diferentes superficies muestreadas en ambos años (3 m^2 en 2010 y 1 m^2 en 2011), así como a la típica variabilidad espacial del suelo.

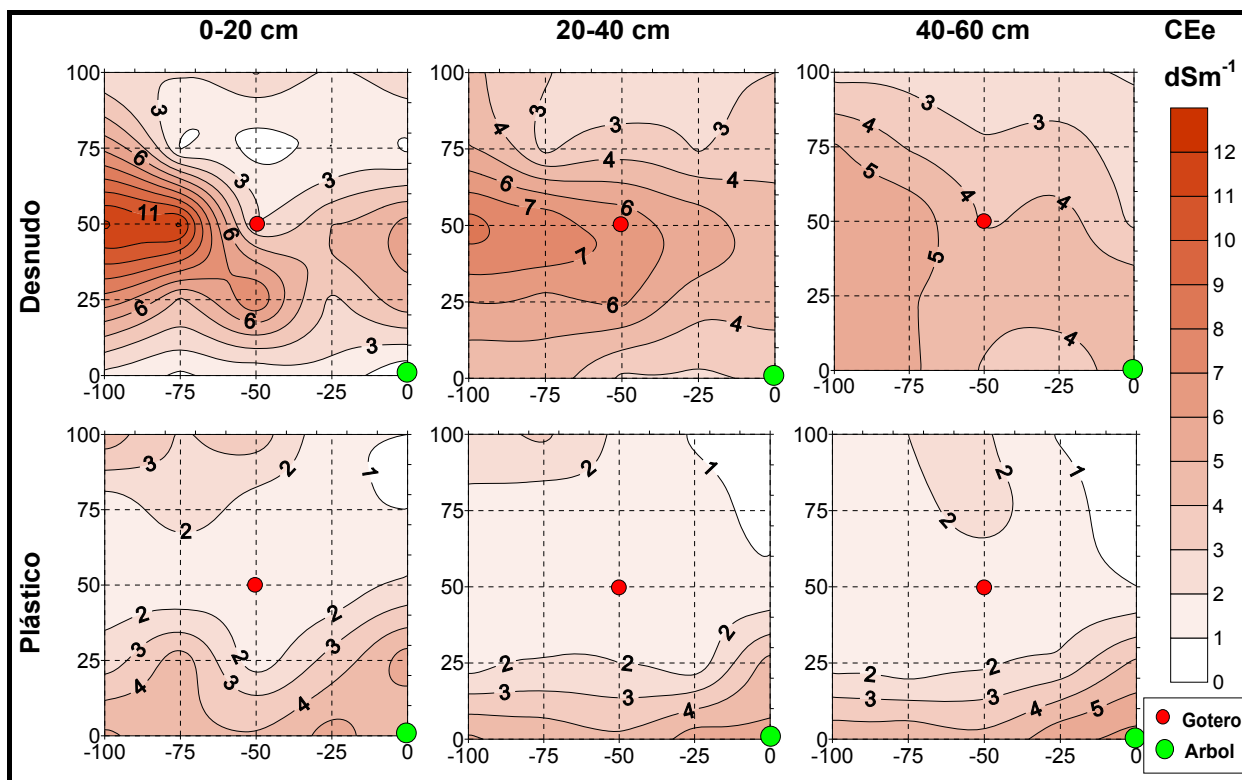


Figura IV.117. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Mapa de isolíneas de la conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CEe) medida a las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Los ejes están expresados en cm, el árbol (en verde) está situado en la coordenada (X, Y) = (0, 0) y el gotero (en rojo) en la coordenadas (-50, 50).

Tabla IV.64. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo (CEe) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 0-60 cm. N = número de observaciones; CV = coeficiente de variación; CEe_{mps} = CEe media ponderada por la superficie calculada a partir de los mapas de isolíneas de CEe.

CEe (dS/m)	Suelo desnudo				Suelo bajo plástico			
	Profundidad de suelo (cm)				Profundidad de suelo (cm)			
	0-20	20-40	40-60	0-60	0-20	20-40	40-60	0-60
N	25	25	25	75	25	25	25	75
Máximo	12.2	8.5	6.0	12.2	5.6	5.6	6.4	6.4
Mínimo	1.1	2.4	1.9	1.1	1.0	0.8	0.8	0.8
Media	4.4	4.4	4.0	4.3	2.7	2.4	2.4	2.5
CV (%)	69	38	31	49	59	65	70	64
CEe_{mps}	4.6	4.7	4.1	4.4	2.5	2.1	2.1	2.2

Desde el punto de vista de la respuesta de la nectarina a la salinidad edáfica y su descenso potencial de rendimiento debido a estrés osmótico, se han seleccionado (al igual que en el año 2010) dos superficies de suelo (Tabla IV.65): (1) la superficie completa muestreada (1 m², Figura IV.20) en la que se tomaron 25 muestras a cada profundidad, y (2) la superficie de 0.25 m² más próxima al gotero en la que se tomaron 9 muestras de suelo. Para cada profundidad muestreada y para la profundidad integrada de 0-60 cm, se han seleccionado cuatro valores de CEe (Tabla IV.58): (1) la CEe media aritmética (CEe_{ma}) medida en todas las muestras, (2) la mínima CEe (CEe_{min}) medida en las muestras de suelo (media de los

tres valores mínimos), (3) la CEe media ponderada por la superficie (CEe_{mps}), y (4) la CEe media ponderada por la densidad de longitud de raíces (CEe_{mpr}).

En base a la función de respuesta del melocotonero [$Y_r = 100 - 21 (CEe - 1.7)$] y las distintas formas de expresar la salinidad edáfica, se obtienen los siguientes resultados:

(1) CEe_{ma} (0-60 cm):

- Suelo desnudo: $Y_r = 45\%$ (superficie de 1 m²) y 37% (superficie de 0.25 m²)
- Suelo bajo plástico: $Y_r = 83\%$ (superficie de 1 m²) y 98% (superficie de 0.25 m²)

(2) CEe_{min} (0-60 cm):

- Suelo desnudo: $Y_r = 92\%$ (superficie de 1 m²) y 77% (superficie de 0.25 m²)
- Suelo bajo plástico: sin descensos de rendimiento (CEe_{min} < 1.7 dS m⁻¹)

(3) CEe_{mps} (0-60 cm):

- Suelo desnudo: $Y_r = 43\%$ (superficie de 1 m²) y 31% (superficie de 0.25 m²)
- Suelo bajo plástico: $Y_r = 89\%$ (superficie de 1 m²) y 0% (superficie de 0.25 m²)

(4) CEe_{mpr} (0-60 cm):

- Suelo desnudo: $Y_r = 54\%$ (superficie de 1 m²) y 47% (superficie de 0.25 m²)
- Suelo bajo plástico: $Y_r = 81\%$ (superficie de 1 m²) y 96% (superficie de 0.25 m²)

Tabla IV.65. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Salinidad del suelo expresada en base a la CEe media aritmética (CEe_{ma}), la mínima CEe medida en tres muestras de suelo (CEe_{min}), la CEe media ponderada por la superficie (CEe_{mps}), y la CEe media ponderada por la densidad de longitud de raíces (CEe_{mpr}) para la superficie total muestreada de 1 m² y para la superficie de 0,25 m² muestreada junto al gotero. N = número de muestras tomadas en cada profundidad muestreada.

		Superficie = 1 m ²				Superficie = 0.25 m ²			
		Profundidad de suelo(cm)				Profundidad de suelo(cm)			
		0-20	20-40	40-60	0-60	0-20	20-40	40-60	0-60
Suelo Desnudo	N	25	25	25	75	9	9	9	27
	CEe _{ma}	4.4	4.4	4.0	4.3	4.7	5.1	4.3	4.7
	CEe _{min}	1.5	2.6	2.1	2.1	1.8	3.1	3.5	2.8
	CEe _{mps}	4.6	4.7	4.1	4.4	4.9	5.7	4.3	5.0
	CEe _{mpr}	3.8	4.4	3.9	3.9	3.9	5.2	4.2	4.2
Suelo Bajo Plástico	N	25	25	25	75	9	9	9	27
	CEe _{ma}	2.7	2.4	2.4	2.5	2.1	1.6	1.6	1.8
	CEe _{min}	1.0	0.9	0.8	0.9	1.1	1.3	1.3	1.2
	CEe _{mps}	2.5	2.1	2.0	2.2	1.7	1.5	1.6	1.6
	CEe _{mpr}	2.5	2.1	2.1	2.2	2.0	1.6	1.8	1.9

Estos resultados indican que en función de la CEe seleccionada, las pérdidas previstas de rendimiento varían desde valores superiores al 60% hasta valores nulos. Asimismo, estos resultados indican que los valores de CEe_{ma}, CEe_{mps} y CEe_{mpr} pueden ser bastantes diferentes en algunos casos. Así, la CEe_{mpr} ha sido en general menor que la CEe_{ma} (en particular en el suelo más superficial de 0-20 cm) (Tabla IV.65), lo que sugeriría (al contrario

que en el año 2010) que las raíces han tendido a desarrollarse más en las zonas de menor salinidad.

Finalmente, es interesante resaltar que en el suelo desnudo los valores de CEE para la superficie más próxima al gotero son mayores que para la superficie total muestreada, un resultado contrario al esperado ya que cabría anticipar que la salinidad próxima al gotero es inferior a la salinidad más alejada del mismo. De hecho, este es el resultado observado en el año 2010 para el suelo desnudo (Tabla IV.58) y en 2011 para el suelo bajo plástico (Tabla IV.58). En definitiva, se plantea la dificultad de cuantificar la respuesta de las plantas a la salinidad edáfica en riego por goteo, dada la elevada variabilidad horizontal y vertical de la salinidad en la zona de raíces y la incertidumbre acerca de la zona de absorción preferente de la solución del suelo dentro de la zona de raíces. Por ello, es preferible en principio cuantificar la respuesta de las plantas en base a la CEE media ponderada por la tasa de absorción de las raíces (CEE_{mpr}) en lugar de en base a la CEE media o la CEE_{mps} .

Tal como se indicó para el año 2010, las producciones de nectarina no se vieron aparentemente afectadas por la salinidad edáfica, lo que sugeriría que la CEE mínima medida en la zona de raíces de la nectarina sería la más adecuada para representar la salinidad efectiva ya que con dicha salinidad la función de respuesta estima descensos nulos de producción. Esta CEE mínima es similar a la CEE del agua de riego (1.2 dS m^{-1}) en el suelo bajo plástico y en torno al doble en el suelo desnudo.

Distribución de la DLR

La Figura IV.118 presenta los mapas de las isolíneas de la DLR y la Tabla IV.66 presenta la estadística básica de la DLR para los dos tratamientos y las cuatro profundidades de suelo analizadas.

Los resultados con el suelo desnudo fueron cualitativamente similares a los obtenidos en el año 2010, y en ambos años la DLR fue más alta en la proximidad del gotero y disminuyó con la profundidad, sobre todo por debajo de los 40 cm. Estos mismos resultados fueron obtenidos en otros trabajos en melocotonero (Abrisqueta et al., 2008), en peral (Kang et al., 2002), en albaricoque (Ruiz-Sanchez et al., 2004), en almendro (Romero et al., 2004) y en viña (Stevens y Douglas, 1994). Aunque la DLR media de la profundidad integrada de 0-60 cm fue similar en ambos años (en torno a 1 cm cm^{-3}), la DLR del suelo más superficial fue algo mayor en 2011 (2.3 cm cm^{-3}) que en 2010 (1.8 cm cm^{-3}). La DLR fue alta cerca del árbol en el tratamiento plástico, pero no en el desnudo. Marler y Davies (1990) mostraron que el peso seco de las raíces fibrosas de los árboles de naranja disminuyó con la distancia al tronco.

La Tabla IV.66 indica que la variabilidad de las observaciones fue elevada. El CV de la DLR para la profundidad de 0-20 cm fue del 74% (suelo desnudo) y 47% (suelo bajo plástico), lo que indica que la distribución de raíces fue más homogénea en el suelo bajo plástico.

Respecto a la DLR total (suma de las DLR medidas a cada profundidad), el modelo de extracción (asumiendo que extracción \approx DLR) para los tres tercios de la zona de raíces fue sensiblemente similar en ambos tratamientos: 68%-23%-9% en el suelo desnudo y en el suelo bajo plástico. El modelo de extracción en 2010 considerando la misma profundidad de suelo fue 60%-27%-13%. Estos resultados muestran que el sistema radicular de la nectarina se concentra principalmente en los primeros 20 cm de suelo donde la humedad es más elevada (Tabla IV.63), de tal forma que el hidrotropismo domina sobre el geotropismo, tal como se ha descrito en cítricos y frutales (Bielorai, 1982). Este modelo de extracción contrasta con el modelo 40%-30%-20%-10% propuesto por FAO para riego convencional, y apoya la idea de que la salinidad de la parte superior de la zona de raíces (0-20 cm) es determinante ya que la mayor tasa de extracción se produce en esa zona.

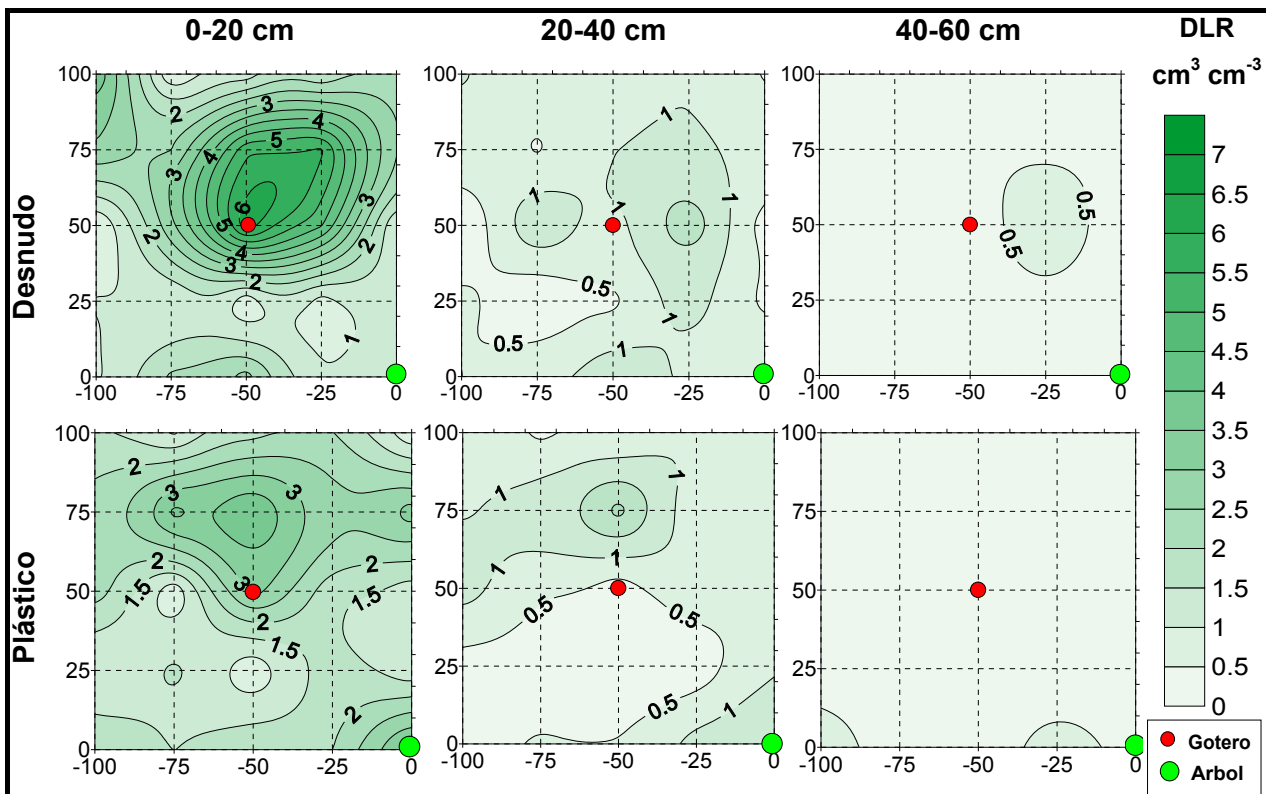


Figura IV.118. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Mapa de isólinas de la densidad de longitud de raíces (DLR) medida a las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Los ejes están expresados en cm, el árbol (en verde) está situado en la coordenada (X, Y) = (0, 0) y el gotero (en rojo) en la coordenadas (-50, 50).

Tabla IV.66. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Densidad de longitud de raíces (DLR) medida a las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 0-60 cm. N = número de observaciones; CV = coeficiente de variación; DLR_{mps} = DLR media ponderada por la superficie calculada a partir de los mapas de isólinas de DLR. Se presenta asimismo en paréntesis el porcentaje de la DLR total medido a cada profundidad.

DLR (cm/cm ³)	Suelo desnudo				Suelo bajo plástico			
	Profundidad de suelo (cm)				Profundidad de suelo (cm)			
	0-20	20-40	40-60	0-60	0-20	20-40	40-60	0-60
N	25	25	25	75	25	25	25	75
Máximo	6.3	1.8	0.9	6.3	4.0	2.1	0.9	4.0
Mínimo	0.5	0.1	0.1	0.1	0.6	0.2	0.1	0.1
Media	2.3	0.8	0.3	1.1	2.0	0.8	0.3	1.0
(% de DLR total)	(68%)	(23%)	(9%)	-	(64%)	(26%)	(10%)	-
CV (%)	74	53	55	117	47	63	65	94
DLR_{mps}	2.6	0.8	0.3	1.3	2.0	0.7	0.3	1.0

En base a los valores de la DLR_{mps} para la profundidad integrada de 0-60 cm, la Tabla IV.66 indica que la misma fue un 30% mayor en el suelo desnudo (1.3 cm cm⁻³) que en el suelo bajo plástico (1.0 cm cm⁻³). La menor DLR del suelo bajo plástico puede atribuirse a su elevada HG, superior a capacidad de campo en algunas zonas del suelo más superficial (Figura IV.116), que pudo limitar el crecimiento de raíces debido a su sensibilidad a la hidromorfia y a la anoxia. Así, Kramer y Boyer (1995) indicaron que la ausencia de aireación

en el suelo disminuye la absorción radical debido al aumento de la resistencia hidráulica de la raíces que reduce la intensidad de la respiración y la concentración del oxígeno conduciendo a una concentración elevada del CO₂ en la zona radical. Asimismo, Perez-Pastor (2001) encontró una DLR más alta en un cultivo de peral sometido a déficit hídrico que en el mismo cultivo bien regado debido a una menor humedad en el primero, y Romero et al. (2004) observaron en un cultivo de almendro bajo riego localizado que la DLR era más densa en el tratamiento con la menor dosis de riego. Tan y Buttery (1982) mostraron que cuando el 50% de las raíces de los árboles de melocotonero están bien abastecidas con agua de riego ya es suficiente para satisfacer las necesidades de la planta. Green et al. (1997) encontraron en riego localizado que las raíces de los árboles frutales tienen la capacidad de transferir agua desde zonas húmedas locales a un ritmo mucho mayor que cuando la zona radicular está saturada con agua. En el cultivo del melocotonero, el éxito de diferentes estrategias de riego deficitario en algunas etapas de desarrollo del fruto se debe a una adaptación a la restricción moderada de la humedad en los suelos poco profundos y a la restricción del desarrollo de las raíces en la zona húmeda (Girona et al, 2003).

Relaciones DLR-HG-CEe

La Figura IV.119 presenta la combinación tridimensional de los mapas de isolíneas de HG, CEe y DLR obtenidos para las profundidades de suelo de 0-20, 20-40 y 40-60 cm en una superficie de 1 m² de los tratamientos suelo desnudo y suelo bajo plástico.

Se estudiaron las relaciones entre DLR y HG (Tabla IV.67) y entre DLR y CEe (Tabla IV.68) mediante análisis de regresión lineal.

DLR vs. HG

La DLR aumenta con la HG, de tal manera que la regresión lineal entre ambas variables es significativa a P<0.001 en el suelo desnudo para las profundidades de 0-20 y 0-60 cm y en el suelo bajo plástico para la profundidad de 0-60 cm, y a P <0.05 en el suelo bajo plástico a las profundidades de 0-20 y 20-40 cm (Tabla IV.67 y Figura IV.119).

Así pues, las raíces tienden a acumularse en las zonas de mayor humedad del suelo, en particular en el suelo más superficial donde la DLR es mayor. Esta correlación positiva entre DLR y HG ha sido observada asimismo por Barnett et al. (1983) y Gardner (1991). Este resultado es parecido al obtenido en 2010, donde la DLR también aumentó significativamente con la HG en dos profundidades de suelo.

Tabla IV.67. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Ecuaciones de regresión lineal y coeficiente de determinación (R²) entre DLR y HG obtenidas con las 25 muestras de suelo analizadas en cada profundidad de suelo. Niveles de significación de R²: *** <0.001; ** <0.01; * <0.05; ^{ns} no significativo a P > 0.05.

Profundidad de suelo (cm)	DLR (cm cm ⁻³) = a + b HG (%)					
	Desnudo			Plástico		
	a	b	R ²	a	b	R ²
0-20	-3.2	0.31	0.56***	0.10	0.09	0.18*
20-40	0.35	0.02	0.02 ^{ns}	-1.4	0.11	0.17*
40-60	0.09	0.01	0.01 ^{ns}	-0.32	0.03	0.03 ^{ns}
0-60	-3.3	0.26	0.33***	-2.3	0.18	0.29***

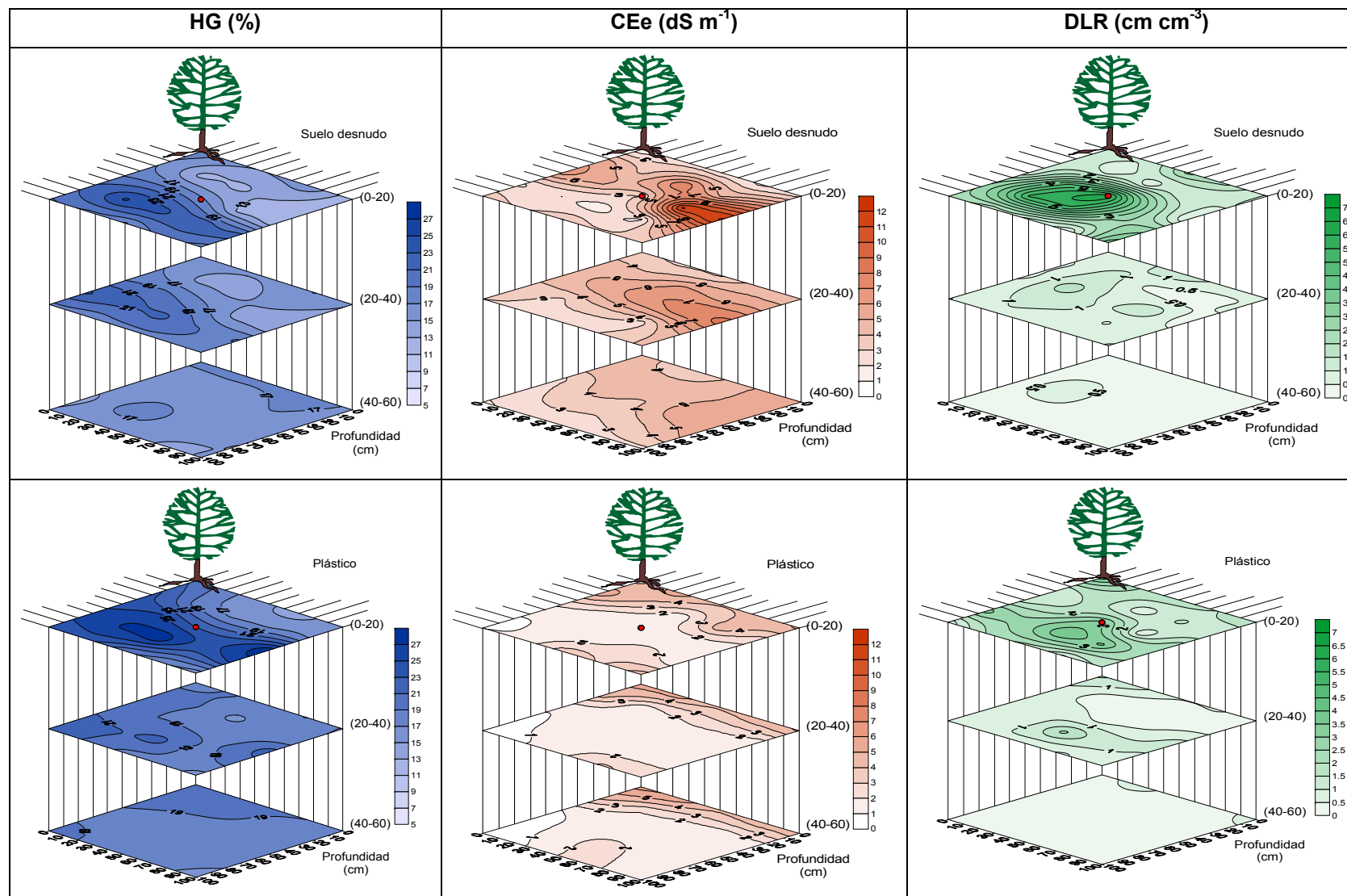


Figura IV.119. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Combinación tridimensional de los mapas de isolíneas de HG, CEe y DLR.

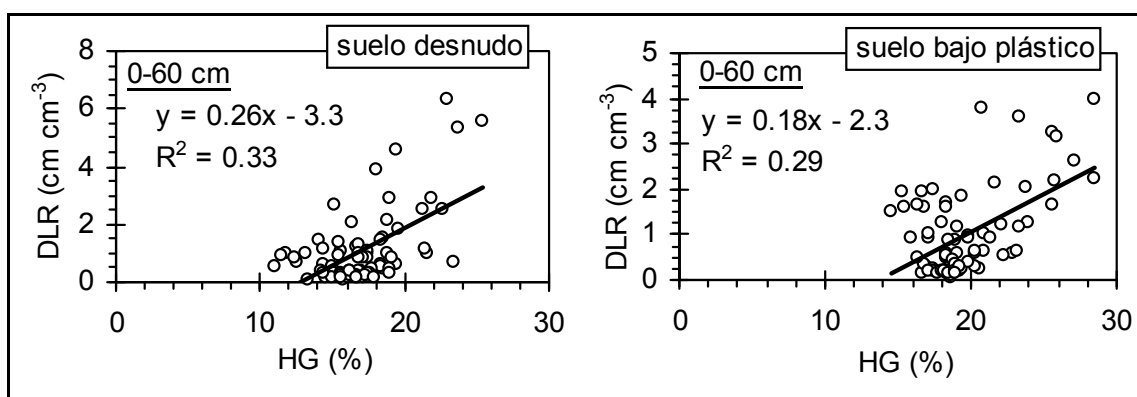


Figura IV.120. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Relación y regresión lineal entre DLR y HG para el conjunto de muestras de suelo.

DLR vs. CEe

La DLR y la CEe no están correlacionadas, salvo en la profundidad de 40-60 cm del suelo bajo plástico (Tabla IV.69). Este resultado indica que las raíces no tendieron a acumularse en las zonas de menor salinidad, a pesar de que visualmente (Figura IV.119) parece observarse una mayor DLR cerca de los goteros, donde la CEe es menor.

Tabla IV.68. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Ecuaciones de regresión lineal y coeficiente de determinación (R^2) entre DLR y CEe obtenidas con las 25 muestras de suelo analizadas en cada profundidad de suelo. Niveles de significación de R^2 : *** <0.001; ** <0.01; * <0.05; ^{ns} no significativo a $P > 0.05$.

Profundidad de suelo (cm)	DLR (cm cm ⁻³) = a + b CEe (dS m ⁻¹)					
	Desnudo			Plástico		
	a	b	R ²	a	b	R ²
0-20	2.94	-0.15	0.08 ^{ns}	2.23	-0.08	0.02 ^{ns}
20-40	0.89	-0.02	0.01 ^{ns}	0.66	0.03	0.01 ^{ns}
40-60	0.36	-0.02	0.02 ^{ns}	0.13	0.06	0.36 ^{**}
0-60	1.48	-0.08	0.02 ^{ns}	0.88	0.05	0.01 ^{ns}

Perfiles de DLR, HG y CEe

Se realizaron los mapas de isolíneas de la distribución de HG, CEe y DLR en una sección debajo de la línea de goteros (dirección este-oeste) hasta 60 cm de profundidad (Figura IV.121).

Estos mapas muestran que la HG es más alta en el suelo bajo plástico, mientras que la CEe y la DLR son más altas en el suelo desnudo. En todos los caso, el gotero es el centro de las isolíneas, tal como cabe esperar en este sistema de riego, aunque el suelo superficial situado a la izquierda del gotero (X = -25 a -50 cm) alcanzó una salinidad muy elevada por razones no explicadas.

Dado que según esta figura parece existir, al menos para el suelo más superficial, una cierta concordancia espacial entre los valores elevados de DLR y HG y los valores bajos de CEe, se han estimado estas tres variables en los nodos de una cuadrícula de 5 x 5 cm para el corte de -50 a + 50 cm (eje X) y la profundidad de 0 a -20 cm (eje Y). El total de nodos es por lo tanto de 21 (eje X) x 5 (eje Y) = 105.

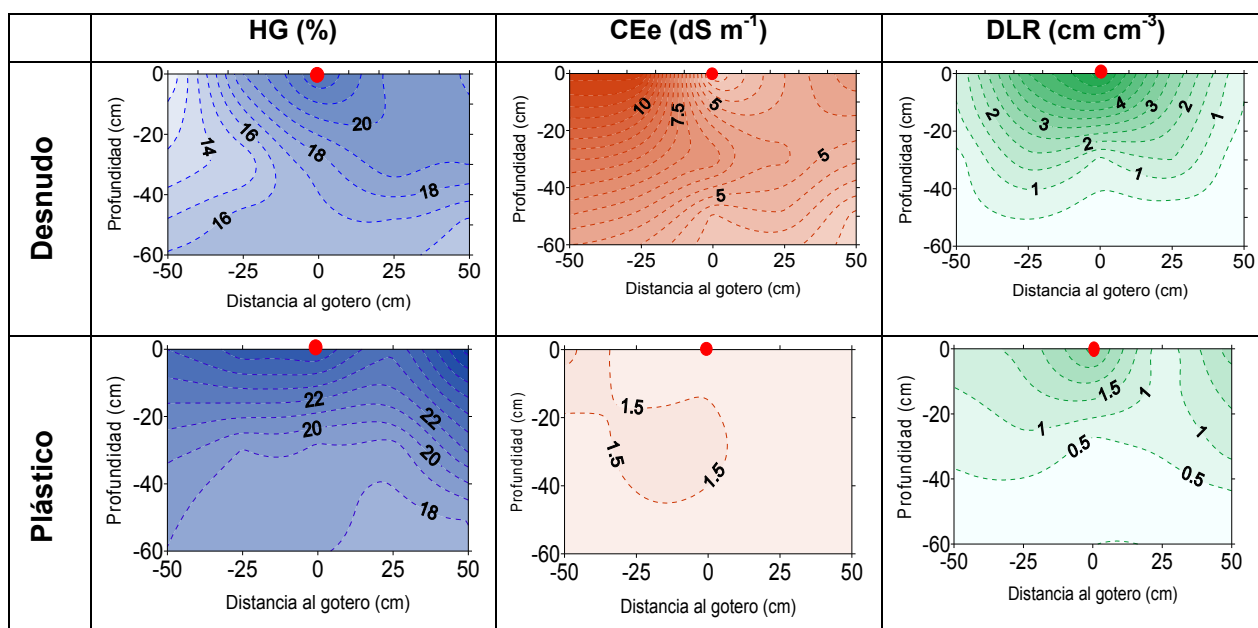


Figura IV.121. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Isolíneas de HG, CEE y DLR para la profundidad de suelo de 0-60 cm obtenidas bajo la línea de goteros. El punto rojo es la posición del gotero.

La Figura IV.122 presenta para las profundidades de suelo de 0, 5, 10, 15 y 20 cm, las relaciones entre DLR y HG estimadas en los nodos indicados. Las observaciones a cada profundidad situadas más a la derecha (valores más elevados de HG) corresponden a la posición del gotero y los dos brazos con disminución creciente de la HG de derecha a izquierda corresponden a distancias crecientes a ambos lados de la posición del gotero.

Los resultados de esta figura se sintetizan en los siguientes puntos:

- (1) Para las posiciones más alejadas del gotero (puntos situados a la izquierda en la figura) en el suelo desnudo, las observaciones de todas las profundidades se separan en dos brazos o tendencias claramente diferenciadas en las que DLR alcanza valores mínimos de en torno a 0.5 cm cm⁻³ para dos humedades muy diferentes de alrededor del 12% y 19%, respectivamente. Este resultado difiere del obtenido en 2010, donde las observaciones convergían hacia valores mínimos de HG de en torno al 13% y valores mínimos de DLR de en torno a 1.5 cm³ cm⁻³. La microtopografía del terreno puede explicar estas diferencias, ya que en función de la misma el agua puede infiltrar distintas zonas del suelo.
- (2) A pesar de la existencia de estas dos tendencias diferenciadas, La regresión lineal DLR-HG para el conjunto de observaciones es positiva (pendiente = 0.41) y altamente significativa (P<0.001), indicando la estrecha correlación entre estas variables en la sección de suelo analizada debajo de la línea de goteros.
- (3) La relación DLR-HG para el suelo bajo plástico es cualitativamente similar a la obtenida en el año 2010 para el suelo desnudo, de tal forma que las observaciones convergen hacia valores mínimos de DLR y de HG conforme se alejan de la posición del gotero. Al igual que para el suelo desnudo, DLR y HG están significativamente correlacionadas (P<0.001).

La Figura IV.123 presenta para las profundidades de suelo de 0, 5, 10, 15 y 20 cm, las relaciones entre DLR y CEE estimadas en los nodos indicados. Las observaciones a cada profundidad situadas más a la izquierda (valores más bajos de CEE) corresponden a la posición del gotero y los dos brazos con aumento creciente de la CEE de izquierda a derecha corresponden a distancias crecientes a ambos lados de la posición del gotero.

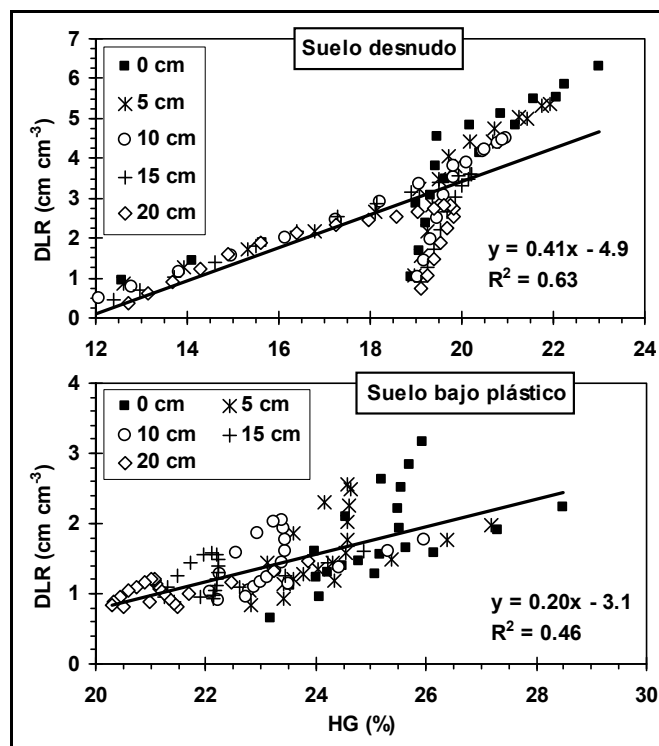


Figura IV.122. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Relaciones a cada profundidad entre DLR y HG estimadas de las isóneas de la Figura IV.122 en los nodos de una cuadrícula de 5 x 5 cm. Se presenta asimismo la ecuación de regresión lineal para el conjunto de puntos.

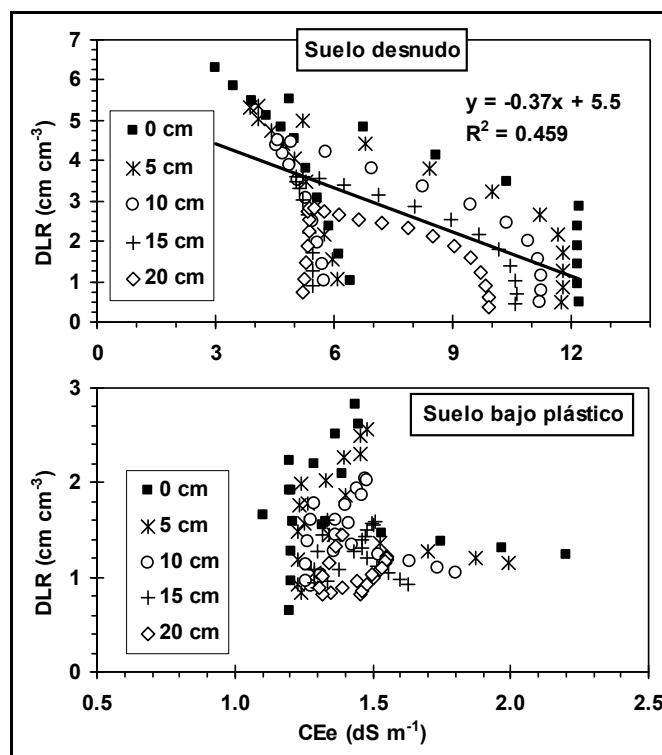


Figura IV.123. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Relaciones a cada profundidad entre DLR y CEe estimadas de las isóneas de la Figura IV.121 en los nodos de una cuadrícula de 5 x 5 cm. Se presenta asimismo la ecuación de regresión lineal para el conjunto de puntos del suelo desnudo.

Los resultados de esta figura se sintetizan en los siguientes puntos:

- (1) Para las posiciones más alejadas del gotero (puntos situados a la derecha en la figura), las observaciones de todas las profundidades muestran dos tendencias diferentes, una en la que la DLR disminuye de forma muy abrupta para valores de CEe de en torno a 5 dS m^{-1} , y otra donde la DLR disminuye de forma más suave conforme aumenta la CEe hasta valores de en torno a 12 dS m^{-1} . Este resultado es diferente al obtenido en el año 2010 (suelo desnudo) donde todas las observaciones convergían hacia valores máximos de CEe de en torno a $4.5\text{-}5.0 \text{ dS m}^{-1}$ y valores mínimos de DLR de en torno a $1.5 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. En cualquier caso, la regresión lineal DLR-CEe para el conjunto de observaciones del año 2011 es negativa (pendiente = -0.37) y altamente significativa ($P < 0.001$), indicando la estrecha correlación entre estas variables en la sección de suelo analizada debajo de la línea de goteros.
- (2) En el suelo bajo plástico no existe una correlación significativa entre DLR y CEe, probablemente debido en parte a los bajos intervalos de variación de ambas variables.

Debe tenerse en cuenta que las relaciones DLR-HG y DLR-CEe pueden verse afectadas por la autocorrelación existente entre HG y CEe en la sección analizada. Así, en esta sección existe una correlación negativa (significativa a $P < 0.001$) entre los valores estimados de HG y CEe del suelo desnudo (Figura IV.124), mientras que tanto para las muestras más próximas a los goteros como para el conjunto de muestras no existe tal correlación o es muy débil. En el suelo bajo plástico, la CEe tiende a disminuir con incrementos de HG, pero ambas variables no están significativamente correlacionadas en ningún caso. Este resultado sugiere que el crecimiento y acumulación de raíces se produciría preferentemente en las zonas con mayor humedad del suelo, pero no necesariamente en las zonas con menor salinidad.

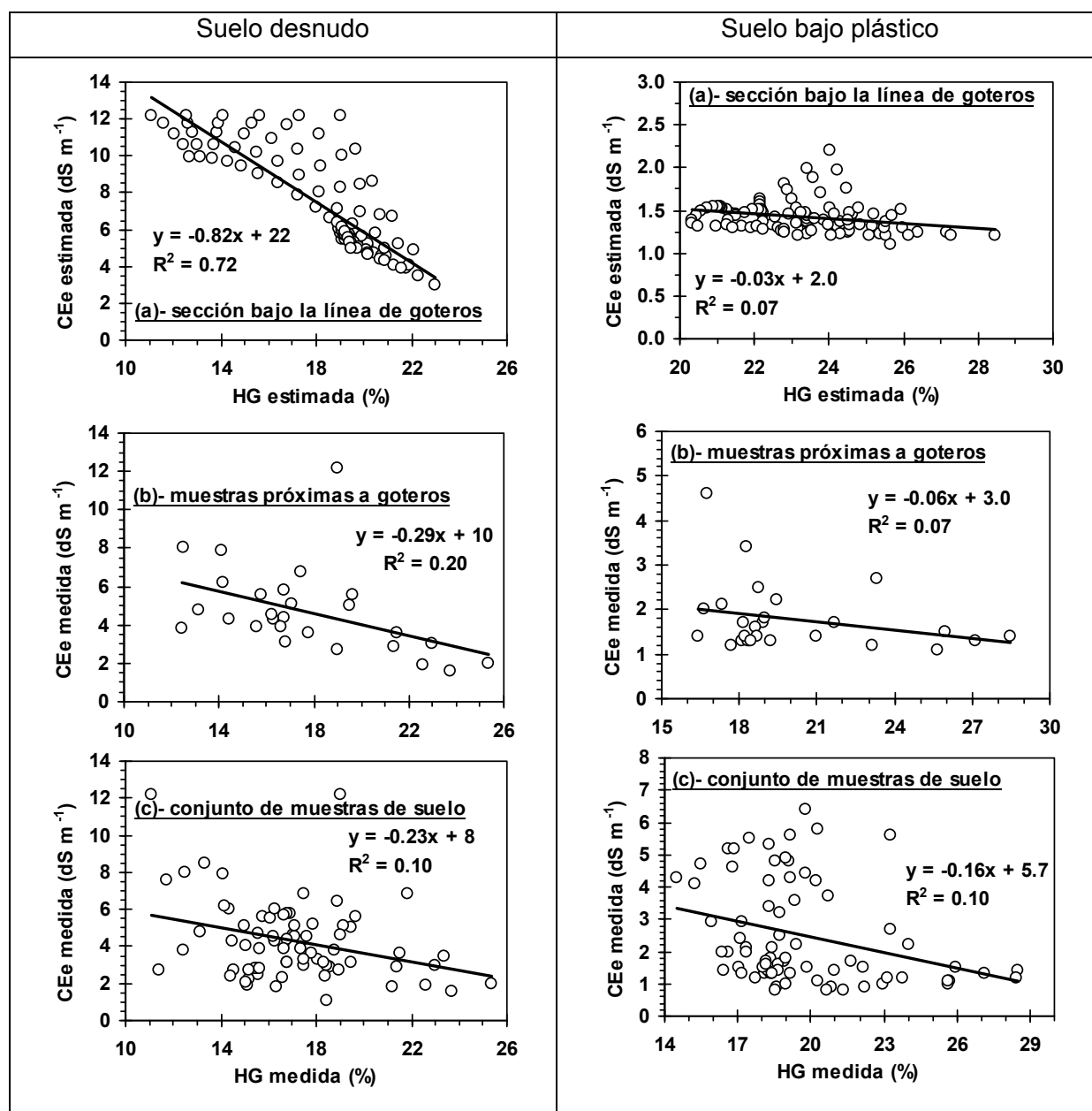


Figura IV.124. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Relaciones y regresión lineal entre (a) la CEE y la HG estimadas en una sección de suelo de 0-20 cm de profundidad localizada bajo la línea de goteros (Figura IV.19), (b) la CEE y la HG medidas en las muestras de suelo próximas a los goteros (27 muestras), y (c) la CEE y la HG medidas en todas las muestras de suelo (75 muestras).

Regresión lineal múltiple (RLM) de DLR vs. HG y CEE

Al objeto de profundizar en el peso relativo de HG y CEE sobre DLR, se han efectuado las regresiones lineales múltiples $DLR = f(HG, CEE)$ entre las variables normalizadas para (1) todas las muestras (25 a cada profundidad), (2) las muestras próxima al gotero (9 a cada profundidad), y (3) las 105 estimas obtenidas en la sección del suelo bajo los goteros. A partir de estas RLM (Tabla IV.69) puede analizarse la dependencia de DLR respecto de HG y CEE, cual de las dos variables afecta más a DLR, y en qué zonas del área muestreada existe o no dicha dependencia. Algunas RLM no se presentan por la elevada autocorrelación entre HG y CEE que producen un análisis inconsistente.

Tabla IV.69. Año 2011 (tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico). Efecto de la humedad gravimétrica (HG) y de la salinidad (CEe) del suelo sobre la densidad de longitud radicular (DLR) a distintas profundidades para (A) todas las muestras de suelo, (B) las muestras de suelo más próximas a los goteros y (C) las estimas en una sección vertical de suelo bajo la línea de goteros: número de puntos (N) y ecuaciones de regresión lineal múltiple de la DLR estandarizada frente a la HG y la CEe estandarizadas. R^2_{aj} = coeficiente de determinación ajustado.

DLR (cm ³ cm ⁻³) = a HG (%) + b CEe (dS m ⁻¹)									
	Prof. (cm)	Suelo desnudo				Acolchado plástico			
		N	a	b	R^2_{aj}	N	a	b	R^2_{aj}
A Todas las muestras de suelo	0-20	25	0.75 ^{***}	0.00 ^{ns}	0.52	25	0.61 [*]	0.27 ^{ns}	0.15
	20-40	25	0.24 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.00	25	0.54 [*]	0.30 ^{ns}	0.19
	40-60	25	0.15 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	0.00	25	-0.19 ^{ns}	0.73 ^{**}	0.39
	0-60	75	0.59 ^{***}	0.05 ^{ns}	0.31	75	0.62 ^{***}	0.28 [*]	0.34
B Muestras de suelo próximas a goteros	0-20	9	0.89 [*]	0.00 ^{ns}	0.72	9	0.83 [*]	0.42 ^{ns}	0.23
	20-40	9	0.53 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.00	9	0.71 [*]	0.10 ^{ns}	0.28
	40-60	9	0.08 ^{ns}	-0.25 ^{ns}	0.00	9	-0.69 [*]	1.16 ^{**}	0.67
	0-60	27	0.78 ^{***}	0.15 ^{ns}	0.48	27	0.84 ^{***}	0.38 ^{**}	0.66
C Estimas en una sección vertical de suelo	0	21	0.75 ^{**}	-0.13 ^{ns}	0.72	21	0.62 ^{**}	0.13 ^{ns}	0.27
	5	21	0.89 ^{**}	0.04 ^{ns}	0.70	21	0.57 [*]	0.16 ^{ns}	0.21
	10	21	1.17 ^{**}	0.39 ^{ns}	0.67	21	0.45 [*]	0.07 ^{ns}	0.10
	15	21	--	--	--	21	0.51 [*]	0.18 ^{ns}	0.16
	20	21	--	--	--	21	0.71 ^{***}	0.32 [*]	0.50
	0-20	105	1.00 ^{***}	0.24 [*]	0.65	105	0.74 ^{***}	0.09 ^{ns}	0.46

^{ns}No significativo a P> 0.1; ^{*}Significativo a P< 0.1; ^{**}Significativo a P< 0.01; ^{***}Significativo a P< 0.001

La Tabla IV.69 indica que la DLR solo dependió significativamente de la CEe en algún caso aislado poco representativo. La DLR dependió positiva y significativamente de la HG en más casos y, en particular, para el suelo más superficial. El peso relativo de HG fue en cualquier caso superior al peso relativo de CEe.

Los resultados son en términos generales similares a los obtenidos en 2010, pero los valores de R^2_{aj} fueron inferiores a los obtenidos en 2010 con el suelo desnudo. Los resultados obtenidos con las RLM coinciden asimismo en líneas generales con los presentados anteriormente en el sentido de que la DLR para la profundidad integrada de 0-60 cm (valores medidos) y 0-20 cm (valores estimados bajo la línea de goteros) se ve más afectada por HG que por CEe.

IV.3.4.3.3. Conclusiones (años 2010 y 2011)

Los muestreos de suelo efectuados en una retícula muy densa (25 x 25 cm) en los años 2010 (superficie de 3 m² y 80 cm de profundidad de muestreo) y 2011 (superficie de 1 m² y 60 cm de profundidad de muestreo) han permitido caracterizar de forma precisa la variabilidad espacial de la humedad gravimétrica (HG), la salinidad (CEe) y la densidad de longitud radicular (DLR) en zonas próximas a árboles de nectarina regados por goteo en un suelo desnudo (años 2010 y 2011) y en un suelo acolchado bajo plástico (año 2011).

Las conclusiones principales de los resultados obtenidos en este trabajo son:

Humedad gravimétrica (HG)

- 1- La HG tiene una distribución radial concéntrica a los goteros y decreciente con la distancia a los mismos. Sin embargo, (1) la presencia de un surco bajo la línea de goteros modifica en algunos casos dicha distribución hacia una distribución de la HG en franjas paralelas a las líneas de goteros, (2) la existencia de una pendiente N-S del terreno provoca que la humedad sea más elevada en la zona S, y (3) la microtopografía del suelo provoca asimetrías en la distribución del agua aplicada y en los valores máximos de HG que no siempre coinciden con la localización de los goteros.
- 2- La evaporación del suelo desnudo provoca que la HG sea menor y más variable en superficie (0-20 cm) que en profundidad (> 20 cm). La HG media para la profundidad integrada de 0-60 cm es un 10% mayor en 2011 (17.1%) que en 2010 (15.6%) debido, al menos en parte, a las distintas superficies muestreada en ambos años. Estos valores son muy inferiores a la HG a capacidad de campo (26%) debido a la transpiración de los árboles y, en particular, a la evaporación de agua en el suelo desnudo.
- 3- La HG media (0-60 cm de profundidad) es un 15% mayor en el suelo bajo plástico (19.7%) que en el suelo desnudo (17.1%) debido a que el plástico constituye una barrera impermeable a la difusión del vapor de agua hacia la atmósfera que evita o reduce la evaporación directa desde la superficie del suelo. A pesar de ello, la HG del suelo bajo plástico es también inferior a CC debido a la transpiración de los árboles.

Salinidad del suelo (CEe)

- 4- La CEe tiene una distribución radial concéntrica a los goteros y decreciente con la distancia a los mismos que se ve alterada por las razones apuntadas en 1 y por la típica variabilidad de las propiedades físicas del suelo.
- 5- La CEe media (0-60 cm de profundidad) en el suelo desnudo es un 32% mayor en 2011 (4.3 dS m^{-1}) que en 2010 (3.5 dS m^{-1}), debido a que sus valores máximos son mucho más elevados (12.2 dS m^{-1} en 2011 frente a 6.9 dS m^{-1} en 2010). En ambos años, la variabilidad de la CEe es muy alta (CVs iguales o superiores al 40%), lo que alerta acerca de la necesidad de efectuar muestreos del suelo capaces de integrar dicha variabilidad.
- 6- La CEe media (0-60 cm de profundidad) del suelo desnudo (4.3 dS m^{-1}) es un 72% mayor que la del suelo bajo plástico (2.5 dS m^{-1}). Asimismo, en base a la CEe media ponderada por la superficie (que integra mejor la variabilidad espacial de la salinidad que la CEe media), la salinidad del suelo desnudo duplica a la del suelo bajo plástico. El plástico es por lo tanto un acolchado muy eficaz para el control de la salinidad edáfica en sistemas de riego de alta frecuencia.
- 7- La elevada variabilidad de la CEe condiciona seriamente la predicción de la respuesta de los cultivos a la salinidad, ya que no es sencillo determinar la "salinidad efectiva" a la que se ven sujetos los mismos. Así, la función FAO de respuesta del melocotonero (similar a nectarina) a la salinidad edáfica utilizando distintos valores de CEe (media aritmética de todas las muestras, media aritmética de las tres muestras con valores mínimos de CEe, media ponderada por la superficie y media ponderada por la densidad de longitud de raíces) resulta en pérdidas potenciales de rendimiento que varían desde valores superiores al 60% con la CEe media, hasta valores nulos con la CEe mínima. Dado que la producción de la plantación de nectarina donde se ha efectuado este trabajo es alta y similar a otras plantaciones del Bajo Ebro Aragonés, la CEe mínima (similar o ligeramente superior a la CE del agua de riego) sería la variable que mejor representa la "salinidad efectiva".

Densidad de longitud de raíces (DLR)

- 8- La DLR tiene una distribución radial concéntrica a los goteros, decreciente con la distancia a los mismos y disminuye logarítmicamente con la profundidad de suelo, de tal manera que la misma es en torno a 7-10 veces superior en superficie que en profundidad.
- 9- La DLR media (0-60 cm de profundidad) en el suelo desnudo es similar en 2010 (1,0 cm cm^{-3}) y 2011 (1.1 cm cm^{-3}) a pesar de la distinta superficie muestreada en ambos años. Asumiendo que la tasa de extracción de agua por los cultivos está directamente relacionada con la DLR, el modelo de extracción (o porcentaje de la DLR en cada tercio de la profundidad muestreada respecto a la DLR total) es 60%-27%-13% en 2010 y 68%-23%-9% en 2011. Asimismo, para el suelo bajo plástico este modelo es 64%-26%-10%. En conclusión, la tasa de extracción de agua del suelo más superficial es igual o superior al 60% de la tasa total de extracción (en contraste con el 40% del modelo FAO en riego por superficie), poniendo de relieve que en riego por goteo de alta frecuencia la CEE del suelo superficial es determinante para el análisis de la respuesta de los cultivos a la salinidad edáfica.
- 10- La DLR media (0-60 cm de profundidad) es similar en el suelo desnudo (1.1 cm cm^{-3}) y bajo plástico (1.0 cm cm^{-3}), pero la DLR media ponderada por la superficie (más representativa que la DLR media) es un 30% mayor en el suelo desnudo. La menor DLR del suelo bajo plástico cabría atribuirse a valores altos de HG (superiores a capacidad de campo en algunas zonas) que afectaron negativamente el desarrollo de las raíces. Es importante por lo tanto en el acolchado plástico ajustar las dosis de riego para imponer humedades adecuadas para el desarrollo óptimo de las raíces.

Relaciones DLR-HG-CEe

- 11- La DLR aumenta con la HG en el suelo más superficial (0-40 cm), tanto en el suelo desnudo como en el suelo bajo plástico ($P < 0.05$). Es decir, las raíces tienden a crecer más en las zonas de mayor humedad del suelo superficial (hidrotropismo $>$ geotropismo), pero no en las del suelo más profundo donde la DLR es muy baja (geotropismo $>$ hidrotropismo).
- 12- La DLR no está correlacionada con la CEE, tanto en el suelo desnudo como en el suelo bajo plástico. Las raíces no tienden por lo tanto a desarrollarse más en las zonas de menor salinidad, a pesar de que en la inspección visual de los mapas de isolíneas parece observarse una mayor DLR cerca de los goteros, donde la CEE es menor. Sin embargo, el efecto árbol es también importante, pues cerca de los mismos se observan en algunos casos valores elevados de DLR que coinciden con zonas de elevada CEE. En conclusión, el crecimiento y acumulación de raíces se produce preferentemente en las zonas con mayor humedad del suelo, pero no necesariamente en las zonas con menor salinidad.
- 13- La CEE tiende a aumentar con el descenso de la HG, pero en ningún caso ambas variables están significativamente ($P < 0.001$) correlacionadas. Este resultado no responde al mecanismo de evapo-concentración según el cual la CEE y la HG deberían estar negativamente correlacionadas. El riego diario impuesto en el sistema de goteo de la plantación examinada podría explicar en parte esta discrepancia

Perfiles de DLR, HG y CEa estimados bajo la línea del gotero

- 14- La DLR para la profundidad de 0-20 cm debajo de la línea de goteros está positivamente correlacionada con HG ($P < 0.001$) tanto en el suelo desnudo como en el suelo bajo plástico, y negativamente correlacionada con CEE ($P < 0.001$) en el suelo desnudo pero no en el suelo bajo plástico (probablemente debido en este

último caso al bajo intervalo de variación de CEe). En conclusión, bajo la línea de goteros se establecen en el suelo más superficial unas distribuciones radiales centradas en el punto de infiltración del agua que implican aumentos de salinidad y descensos de humedad y densidad de raíces con la distancia a los puntos de emisión, de tal manera que la DLR depende de ambas variables (excepto para la CEe del suelo bajo plástico).

- 15- La CEe y la HG para la profundidad de 0-20 cm debajo de la línea de goteros están negativa y significativamente correlacionadas ($P < 0.001$) en el suelo desnudo, pero no en el suelo bajo plástico. La evaporación del suelo desnudo y subsiguiente evapoconcentración del agua en el suelo que aumenta la salinidad y disminuye la humedad explica la diferencia con el suelo bajo plástico en el que se previene la evaporación.

Regresiones lineales múltiples (RLM) de DLR vs. HG y CEe

- 16- Las RLM “ $DLR_{normalizada} = f(HG_{normalizada}, CEe_{normalizada})$ ” para los valores de estas variables medidos en 2010 el conjunto de muestras mostraron significancia ($P < 0.05$) para la HG en los primeros 40 cm de suelo y no mostraron en general significancia para la HG y para la CEe en el resto de casos. Este resultado coincide con el obtenido anteriormente (puntos 11 y 12).

Las RLM para las estimas de estas variables normalizadas en la profundidad de 0-20 cm debajo de la línea de goteros son significativas ($P < 0.001$) en 2010 en todas las profundidades, tanto para HG (con signo positivo) como para CEe (con signo negativo). El peso relativo de HG sobre DLR es del 70% o superior para la profundidad de 0-10 cm y baja hasta un 30% para la profundidad de 20 cm. Para la profundidad integrada de 0-20 cm, el peso de HG es del 46% y el de CEe del 39%. Estos resultados permiten concluir que la DLR depende más de HG (positivamente) que de CEe (negativamente). Los resultados obtenidos en 2011 fueron en general inconsistentes y no permiten obtener conclusiones robustas.

IV.3.4.4. Diámetro de tronco

Las secciones medias del tronco de los árboles de nectarina en el inicio del ensayo en la campaña de 2010 fueron estadísticamente similares con unos valores de 101 cm² para el plástico, 100 cm² para el suelo desnudo, 93 cm² para el geotextil y 94 cm² para la corteza de pino. La Figura IV.125 presenta los valores medios del crecimiento de la sección transversal del tronco (cm²), de los distintos tratamientos de acolchado del suelo para los años 2010, 2011 y 2012 y para el periodo de los tres años 2010-2012.

No hubo diferencias significativas entre los tratamientos de acolchado en los tres años de estudio ni para todo el periodo experimental del ensayo. Sin embargo, aunque no hubo diferencias estadísticas, el tratamiento de acolchado plástico mostró una tendencia a presentar los mayores incrementos del diámetro del tronco a partir del segundo año del ensayo. Este tratamiento tuvo el mayor valor de incremento relativo de la sección transversal del tronco seguido por la corteza de pino y el geotextil en el periodo entre febrero de 2010 y octubre de 2012. Rozpara et al. (2008), encontraron que el acolchado inorgánico (geotextil de polipropileno negro) y orgánico (corteza de pino) no tuvieron efectos significativos en la sección transversal del tronco de un cultivo joven de cerezo. También, Walsh et al. (1996), encontraron en un cultivo de manzano que, aunque sin diferencia estadística significativa, el acolchado de suelo con paja y geotextil, tuvieron una tendencia a aumentar la sección transversal del tronco en comparación con el acolchado de suelo con estiércol y un control de suelo desnudo. Sin embargo, Szewczuk y Gudarowska (2006), mostraron en un ensayo de un cultivo de nectarina realizado desde 1996 hasta 2004, que el acolchado de suelo con corteza de pino tuvo un efecto significativo en el crecimiento de la sección transversal de tronco en comparación con el suelo sin cubierta y tratado con herbicida.

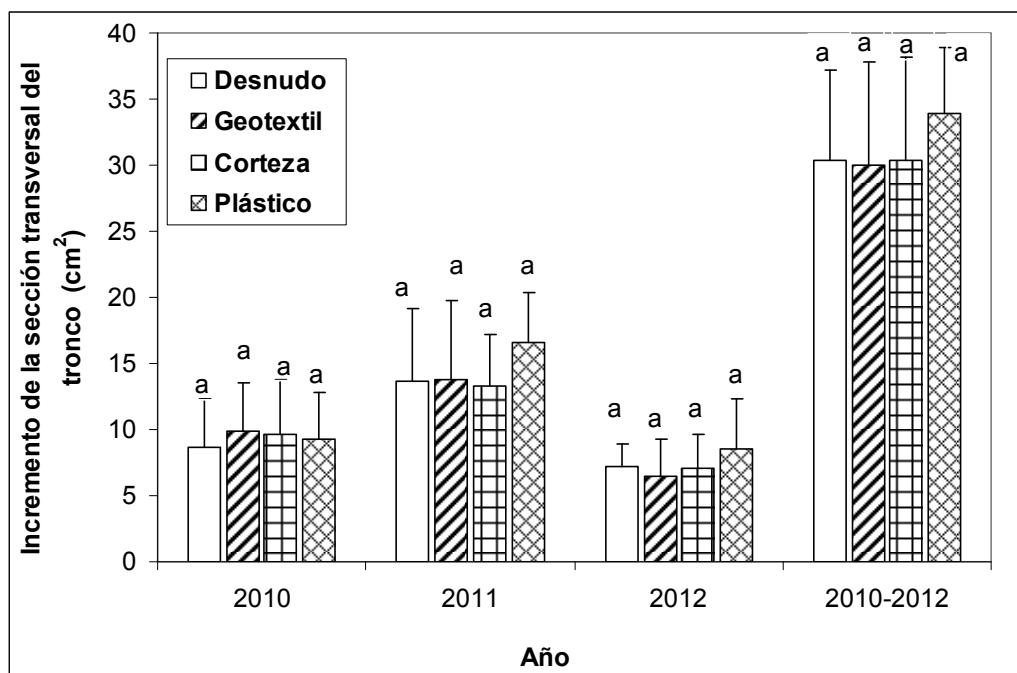


Figura IV.125. Incremento de la sección transversal del tronco para los años 2010, 2011, 2012 y 2010-2012 en cada tratamiento de acolchado del suelo. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).

IV.3.4.5. Potencial hídrico del tallo

La Figura IV.126 presenta la evolución del potencial hídrico del tallo (Ψ_t) en las campañas de 2010 y 2011. En ambos años el Ψ_t tuvo un comportamiento muy similar en todos los tratamientos. En la campaña de riego de 2010, el Ψ_t descendió en todos los tratamientos de acolchado de suelo desde valores de entorno a -0.5 MPa en mayo a valores de entorno a -1.1 MPa el 21 de julio, después de la cosecha de la nectarina. Este descenso se debe al envejecimiento propio del árbol a la disminución de la cantidad de agua de riego y a la alta demanda evaporativa durante este mes que ocasionó un descenso del contenido de agua de suelo. A partir del 2 de agosto se aumentó la dosis de riego lo que explica el aumento de Ψ_t en todos los tratamientos de acolchado hasta valores de alrededor de -0.7 MPa. En la siguiente medida efectuada el 23 de agosto durante el corte de riego el Ψ_t mantuvo el mismo valor de alrededor de -0.7 MPa. El corte del riego se efectuó del 19 al 26 de agosto de 2010. Sin embargo, después de 7 días del corte de riego, los valores de Ψ_t descendieron para alcanzar unos valores que variaron entre -1.4 y -1.6 MPa indicando un ligero estrés hídrico en la nectarina. En la medida que se hizo en septiembre los valores de Ψ_t volvieron a aumentar a valores de -0.8 MPa. En general se observa que el Ψ_t fue ligeramente superior en el tratamiento de corteza de pino que en el resto pero sin diferencias significativas.

Durante la campaña de riego de 2011, se observó una evolución de Ψ_t muy similar en todos los tratamientos de acolchado y con valores más altos que en el 2010. En este año también se observa el efecto del corte del riego en la evolución del Ψ_t . Antes del corte de riego, se aumentó la dosis de riego el día 13 de julio, lo que explica el aumento de Ψ_t . En las medidas efectuadas el 18 y 21 de julio que corresponden hacia la mitad y final del periodo de corte del riego, los valores de Ψ_t descendieron hasta unos valores de -1.1 MPa. Estos valores del Ψ_t indican ausencia de estrés hídrico en el cultivo. Los mayores valores de Ψ_t en el mes de julio de 2011 que en el 2010 fueron debidos principalmente a las condiciones climáticas caracterizadas por una menor temperatura media y menor demanda evaporativa en el mes de julio de 2011 (Tabla IV.70).

Tabla IV.70. Valores medios de la temperatura media (T med), humedad relativa media del aire a 1,5 m sobre el suelo (HRmed), velocidad media del viento a 2 m sobre el suelo (Vmed), precipitación (PREC) y evapotranspiración de referencia calculada por el método de Penman -Monteith (ETo), en la estación Caspe-red SIAR (MAGRAMA) durante los periodos desde 20/08 hasta 26/08/2010 y desde 14/07 hasta 20/07/2011.

Fecha	Tmed (°C)	HRmed (%)	Vmed (ms ⁻¹)	PREC (mm)	ETo (mm)
20/08 - 26/08/2010	27.9	51.5	2.4	0.0	55.6
14/07 - 20/07/2011	23.2	49.1	3.4	0.0	48.1

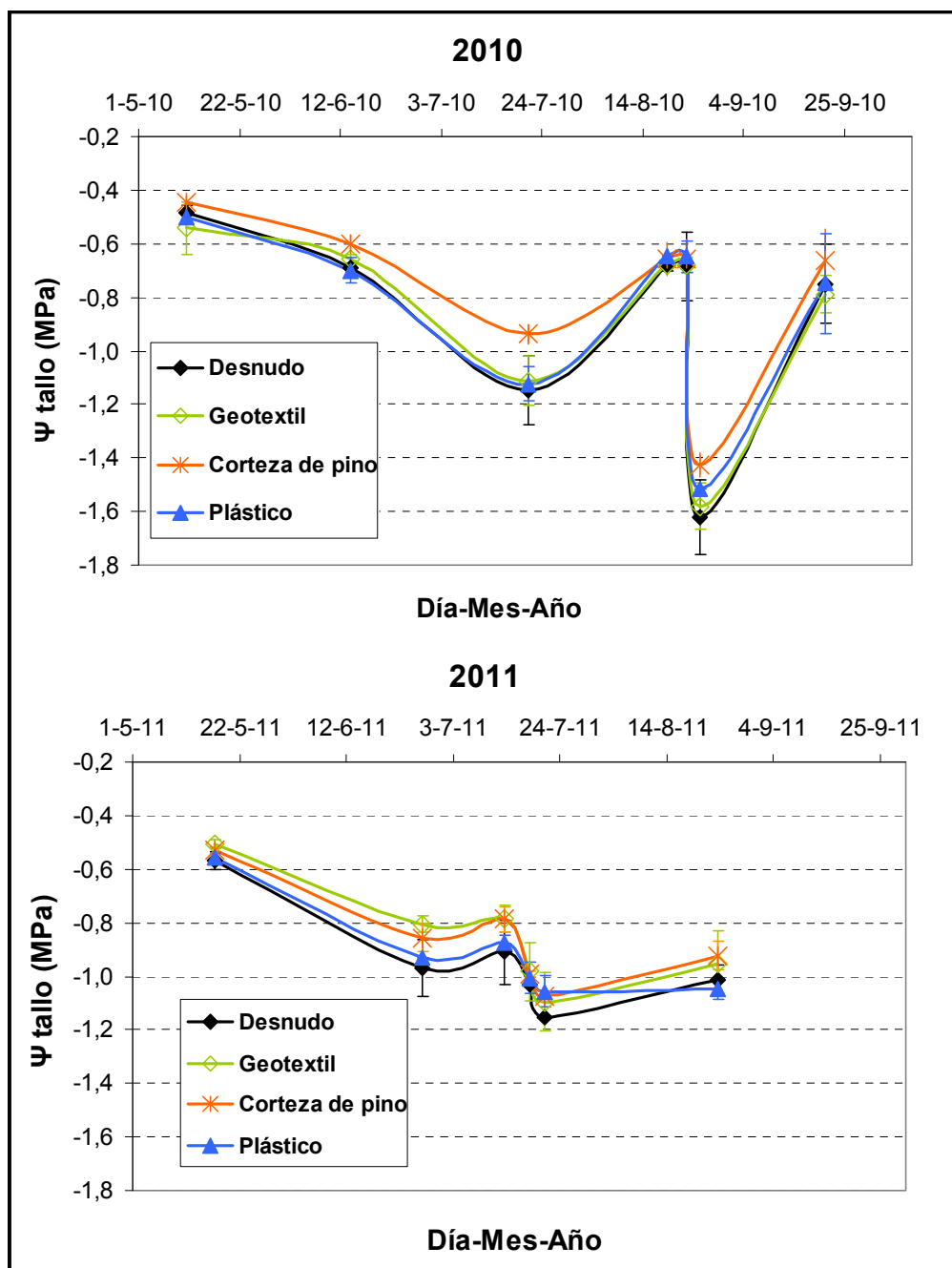


Figura IV.126. Evolución del potencial hídrico de tallo medido a mediodía en los diferentes sistemas de acolchado de suelo durante los años 2010 y 2011 del ensayo de nectarina.

IV.3.4.6. Frutos: precocidad, crecimiento, número, producción, calidad

- **Precocidad del fruto**

Hay que destacar que la medida de la precocidad nos da una idea del adelanto de la cosecha pero no es una medida independiente ya que depende en gran parte del estado de maduración de la fruta en la fecha de la primera cosecha. Por esta razón se observan valores muy diferentes de precocidad en los tres años de estudio. Los valores de esta relación en los distintos tratamientos de acolchado no fueron significativamente diferentes en los distintos años de estudio (Figura IV.127). Sin embargo, a partir del segundo año del ensayo, se nota una mayor diferencia entre los tratamientos en comparación con el primer año. En 2011, el tratamiento de corteza tuvo el mayor porcentaje de precocidad y en 2012 este tratamiento, junto con el tratamiento de plástico, presentaron los mayores valores de precocidad pero sin diferencias significativas. Estos resultados se pueden atribuir a la mayor temperatura del suelo en el acolchado plástico durante todo el año. Los resultados de esta tesis concuerdan con la idea de que el acolchado aumenta la temperatura de suelo y del aire alrededor del cultivo lo que favorece su precocidad (Wells y Loy, 1985; Bonanno y Lamont, 1987; Teasdale y Abdul-Baki, 1995).

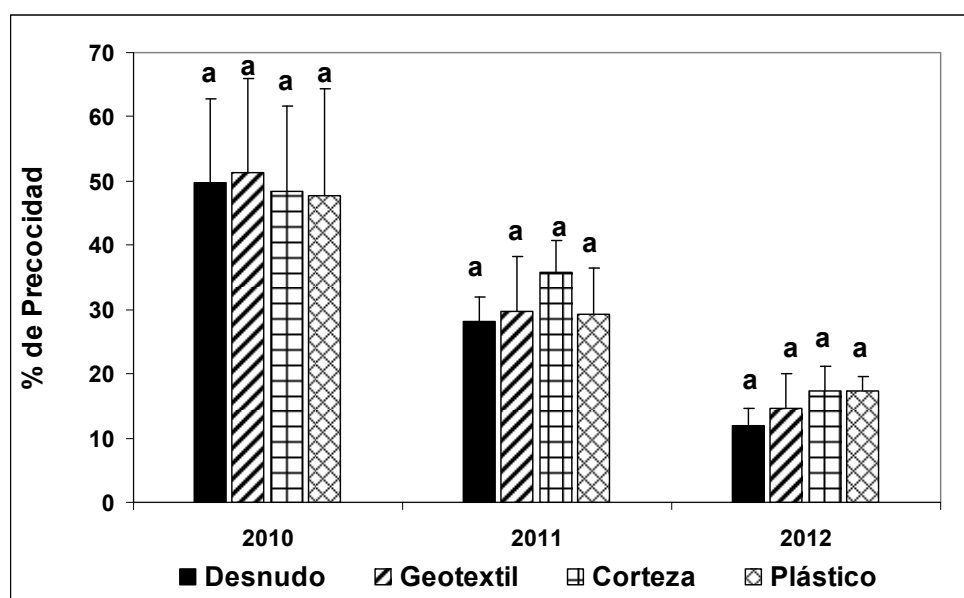


Figura IV.127. Porcentaje de frutos recolectados en la primera pasada de recolección respecto a la producción total en los diferentes sistemas de acolchado de suelo durante el periodo experimental del ensayo de nectarina. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).

- **Crecimiento del fruto**

La realización de diferentes medidas de las dimensiones del fruto de la nectarina (diámetro de la sutura, diámetro perpendicular a la sutura y la altura del fruto) permitió la determinación y el seguimiento del crecimiento del volumen del fruto. Estas medidas se realizaron a partir del 27 de mayo en el año 2010 y el 26 de mayo en el año 2011. Estas fechas corresponden a la fase de endurecimiento del hueso y después del aclareo de los frutos.

En la Tabla IV.71 y la Figura IV.128 se muestran los valores de la evolución del volumen de fruto en los tratamientos de acolchado durante ambos años. El crecimiento del fruto de la nectarina sigue una curva sigmoide-doble con tres fases. La fase I es una fase de

crecimiento rápido que comienza después de la antesis en la que se produce el proceso de división celular. En la fase II el fruto crece de forma lenta y en la fase III el crecimiento aumenta rápidamente hasta el cosechado. En el ensayo de la nectarina, las medidas en el fruto se comenzaron en la fase II y se continuaron en las fases II y III hasta su cosecha.

En el año 2010, la evolución del volumen de fruto de nectarina (media de 24 frutos en cada tratamiento de acolchado) mostró una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre el suelo desnudo y el suelo bajo acolchado plástico en todas las fechas de medida con un volumen final medio igual a 148.2 y 117.5 cm³ respectivamente para el tratamiento de acolchado plástico y suelo desnudo (Tabla IV.71). En la Figura IV.128 se observa que el tratamiento de suelo desnudo se mantuvo por debajo del resto de tratamientos de acolchado a lo largo de todo el periodo de medidas. También se observa que el volumen del fruto en el suelo desnudo fue significativamente menor que en los tratamientos de corteza de pino y geotextil en las tres fechas de medida del 14 de junio, 22 de junio y 1 de julio de 2010. En la última fecha de medida (6 de julio de 2010) no hubo diferencia significativa en el volumen del fruto entre los tratamientos de suelo desnudo, geotextil y corteza de pino, lo cual indica que el fruto del suelo desnudo tuvo una cierta recuperación de su crecimiento al final de la fase III. Sin embargo en esta última fecha de medida se mantuvo la diferencia significativa entre el suelo desnudo y el acolchado plástico. El volumen del fruto en el acolchado plástico fue de 148.2 cm³ y en el suelo desnudo 117.5 cm³.

En el año 2011, las medidas se iniciaron con frutos con un volumen similar en todos los tratamientos de acolchado del suelo. En el resto de medidas del 3 de junio al 21 de junio, se observó un menor tamaño del fruto en suelo desnudo que en el tratamiento de geotextil con diferencias significativas en todas las fechas. Asimismo en las dos últimas medidas (14 y 21 de junio), el volumen del fruto en el tratamiento de suelo desnudo también fue inferior al del acolchado plástico con diferencias significativas. El volumen del fruto en el tratamiento de corteza de pino tuvo un comportamiento similar al de suelo desnudo sin diferencias significativas en todas las fechas de medida. El volumen en la última fecha de medida (21 de junio) fue de 128 cm³ en el suelo desnudo, 155.9 cm³ en el geotextil, 122.6 cm³ en la corteza de pino y 161.2 cm³ en el plástico. En el año 2011 se alcanzaron unos mayores volúmenes del fruto que en el 2010 (Tabla IV.71).

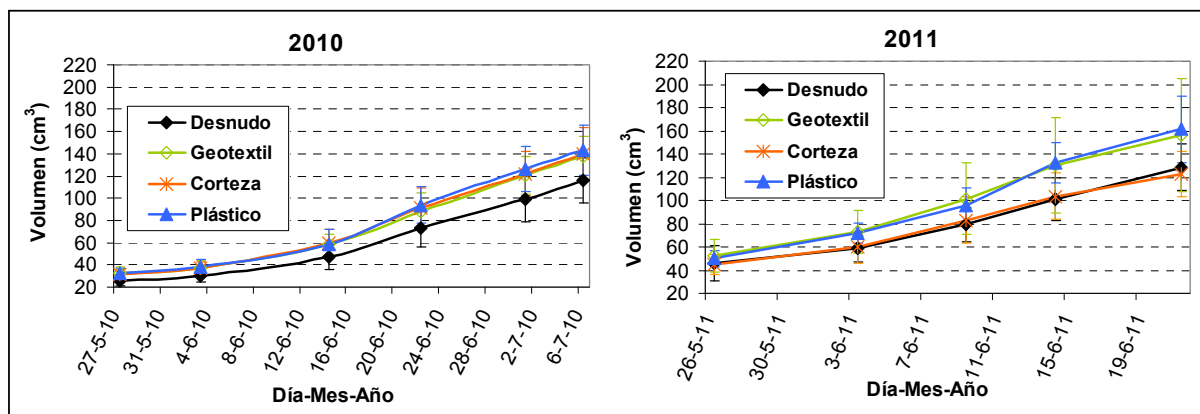


Figura IV.128. Evolución del volumen medio del fruto de la nectarina en los distintos tratamientos de acolchado durante los años 2010 y 2011 del ensayo de nectarina. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar.

Tabla IV.71. Evolución del volumen medio del fruto de la nectarina en los distintos tratamientos de acolchado para los años 2010 y 2011.

Volumen medio del fruto (cm ³) (24 frutos por cada árbol) en cada fecha de muestreo						
2010						
Tratamiento	27-05-10	03-06-10	14-06-10	22-06-10	01-07-10	06-07-10
Desnudo	27.1 a	30.8 a	47.4a	73.1a	100.2a	117.5 a
Geotextil	30.8 a	36.0 ab	56.4b	86.5b	117.3b	134.4ab
Corteza	30.5 a	36.0 ab	57.1b	88.3b	120.8b	137.2 ab
Plástico	32.3b	38.1b	60.6 b	94.9b	128.0b	148.2b
2011						
Tratamiento	26-05-11	03-06-11	09-06-11	14-06-11	21-06-11	
Desnudo	45.7a	58.4 ^a	79.3a	101.2a	128.0a	
Geotextil	52.5a	72.8b	101.2b	130.4bc	155.9bc	
Corteza	44.9a	59.5ab	82.9ab	103.7ab	122.6a	
Plástico	50.0a	72.0ab	95.2ab	132.4c	161.2c	

En cuanto a la tasa del aumento absoluto del volumen de fruto, en la Tabla IV.72 se observa que en ambos años esta tasa aumenta conforme avanza el desarrollo del fruto hasta unos valores máximos y llega a estabilizarse o disminuir al acercarse a la época de la cosecha. En el año 2011, los frutos se cosecharon más temprano que en el año 2010 y también tuvieron una fase de desarrollo del fruto más corta que en el 2010.

Tabla IV.72. Evolución de la tasa de aumento de volumen del fruto de la nectarina (cm³ día⁻¹) en los distintos tratamientos de acolchado durante los años 2010 y 2011.

Periodo de medidas					
2010					
Tratamiento	Del 27-05 al 03-06	Del 03-06 al 14-06	Del 14-06 al 22-06	Del 22-06 al 01-07	Del 01-07 al 06-07
Desnudo	0.5 a	1.5 ^a	3.3a	2.9a	3.4a
Geotextil	0.7 ab	1.9ab	3.8b	3.6b	3.5a
Corteza	0.9 b	2.0b	4.0b	3.1ab	3.5a
Plástico	0.8 b	1.9b	4.4b	3.6b	3.8a
2011					
Tratamiento	Del 26-05 al 03-06	Del 03-06 al 09-06	Del 09-06 al 14-06	Del 14-06 al 21-06	
Desnudo	2.0a	3.5 ^a	4.4a	3.9a	
Geotextil	2.5ab	4.7 ^a	5.9ab	3.6a	
Corteza	2.2ab	3.9 ^a	4.2a	3.0a	
Plástico	2.8b	4.5 ^a	7.4b	4.1a	

En el 2010, la tasa de crecimiento del fruto fue inferior a $2 \text{ cm}^3 \text{ día}^{-1}$ en todos los tratamientos hasta la medida efectuada el 14 de junio y a partir de esa fecha las tasas de aumento del volumen del fruto se situaron entre 2.9 y $4.4 \text{ cm}^3 \text{ día}^{-1}$ (Tabla IV.72). En el 2010, el tratamiento de suelo desnudo tuvo tasas de crecimiento de fruto inferiores significativamente a las del tratamiento de acolchado plástico en todos los periodos de medidas excepto en el último periodo del 1 al 6 de julio del 2010, en el que hubo un crecimiento medio del fruto similar en todos los tratamientos de acolchado (de 3.4 a $3.8 \text{ cm}^3 \text{ día}^{-1}$) sin diferencias significativas entre ellos.

En el 2011, la tasa de crecimiento del fruto fue inferior a $3 \text{ cm}^3 \text{ día}^{-1}$ en todos los tratamientos en el primer periodo de medidas del 26 de mayo al 3 de junio y a partir de esa fecha las tasas de aumento del volumen del fruto se sitúan por encima de $3 \text{ cm}^3 \text{ día}^{-1}$ llegando a crecimientos de hasta $7.4 \text{ cm}^3 \text{ día}^{-1}$. En el 2011, los tratamientos de suelo desnudo y de corteza tuvieron tasas de crecimiento de fruto inferiores a las del tratamiento con plástico en todo el periodo de desarrollo del fruto. En los periodos del 26 de mayo al 3 de junio y del 9 al 14 de junio hubo diferencias significativas entre las tasas de crecimiento del fruto de los tratamientos de suelo desnudo y acolchado plástico. Hay que destacar el fuerte crecimiento del fruto en el tratamiento de acolchado plástico de $7.4 \text{ cm}^3 \text{ día}^{-1}$ en el periodo de del 9 al 14 de junio de 2011. En los periodos del 3 al 9 de junio y del 14 al 21 de junio de 2011 no hubo diferencias entre ningún tratamiento de acolchado.

• **Número de frutos**

La Figura IV.129 presenta el número medio de frutos de nectarina en cada tratamiento de acolchado de suelo obtenido dividiendo el peso de la producción total de fruta por el peso medio del fruto. No se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos en los tres años de estudio, si bien, se observó que el plástico tuvo el mayor número medio de frutos en los tres años del ensayo.

En diversos trabajos con otros cultivos se confirma el efecto positivo del uso de acolchados en el aumento del número de frutos. Ramakrishna et al. (2006) encontraron que el número de vainas de cacahuete por planta fue positivamente afectado por el acolchado de suelo con una cubierta de plástico y con paja de trigo. Garcia (2008) mostró que el número de frutos de pimiento por planta bajo el plástico fue mayor que en el caso del suelo desnudo, atribuyéndolo a una baja salinidad del suelo bajo el plástico, mayor humedad y una temperatura relativamente más alta que en el caso del suelo desnudo.

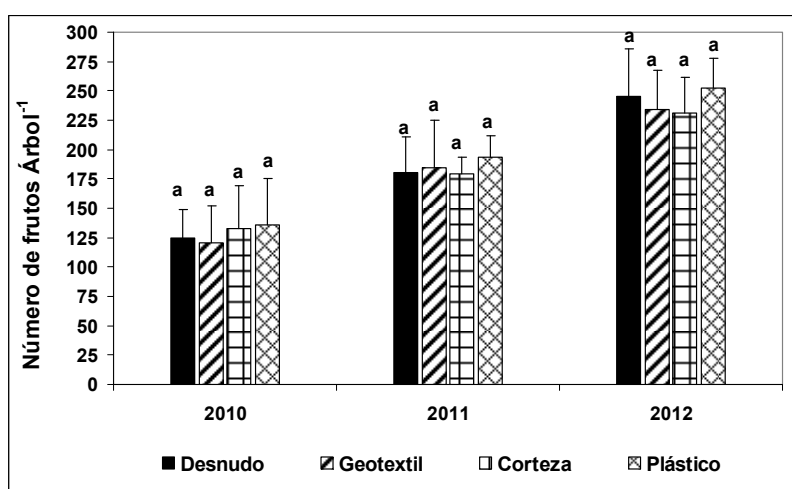


Figura IV.129. Número medio de frutos por árbol en cada tratamiento de acolchado en nectarina durante el periodo experimental de 2010 a 2012. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).

- **Producción de frutos**

La Tabla IV.73 presenta la producción media de fruta por árbol acumulada en las distintas cosechas efectuadas cada año del ensayo. No hubo diferencias significativas entre los distintos tratamientos de acolchado en las distintas cosechas efectuadas ni entre las producciones totales de fruta en los distintos años de estudio.

Tabla IV.73. Producción media de fruta por árbol en los distintos tratamientos de acolchado de suelo en las cosechas efectuadas en el ensayo de nectarina en el periodo experimental de 2010 a 2012.

Producción (Kg/árbol)				
2010				
Tratamiento	Primera cosecha	Segunda Cosecha	Tercera cosecha	Total
Desnudo	10.5 a	11.1 a	-	21.8 a
Geotextil	10.6 a	11.0 a	-	21.7 a
Corteza de pino	12.1 a	12.4 a	-	23.0 a
Plástico	10.9 a	13.6 a	-	24.2 a
2011				
Desnudo	8.8 ^a	11.6a	11.0a	31.4a
Geotextil	10.0a	12.8a	10.8a	33.5a
Corteza de pino	11.4 ^a	9.9a	10.7a	32.0a
Plástico	10.4 ^a	12.6a	12.6a	35.6a
2012				
Desnudo	4.6 ^a	14.4a	19.2a	38.2a
Geotextil	5.4 ^a	12.9a	18.5a	36.9a
Corteza de pino	6.5 ^a	13.4a	17.6a	37.4a
Plástico	7.1 ^a	15.9a	18.0a	41.0a
2010-2012				
Desnudo				91.4a
Geotextil				92.1a
Corteza de pino				92.4a
Plástico				100.8a

Las producciones totales de los cuatro tratamientos de acolchado de suelo fueron en promedio un 41 y 14% más altos en 2012 que en 2010 y 2011 respectivamente. Todos los tratamientos de acolchado de suelo fueron estadísticamente similares en términos de producción anual total, sin embargo en los tres años de estudio se observó una producción mayor en el acolchado plástico que en el resto de los tratamientos de acolchado (Figura IV.130). La producción acumulada de fruta en el tratamiento plástico, durante los tres años del ensayo de nectarina, fue 100.8 Kg árbol⁻¹ equivalente a 84 t ha⁻¹. En los tratamientos de corteza de pino y geotextil hubo una producción acumulada de 92 Kg árbol⁻¹ equivalente a 77 t ha⁻¹ y en el control de suelo desnudo de 91.4 Kg árbol⁻¹ equivalente a 76 t ha⁻¹, pero sin diferencias significativas entre los tratamientos.

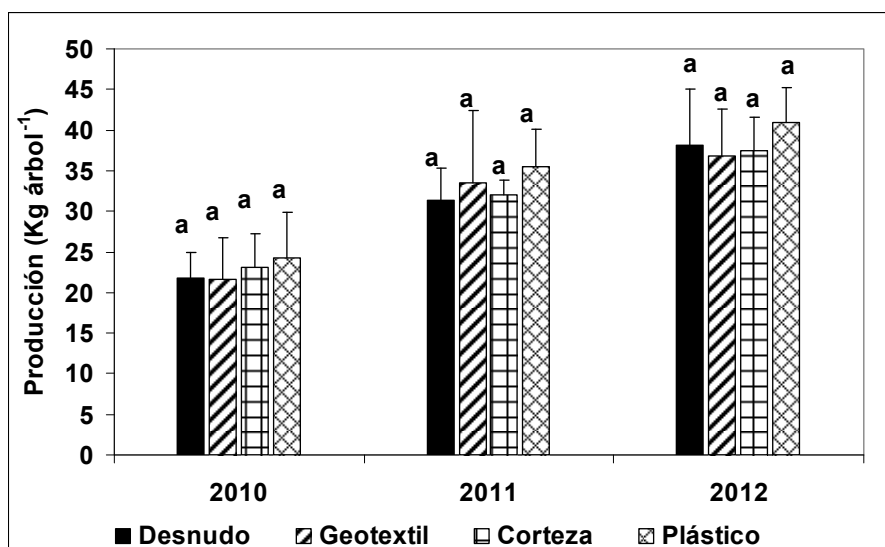


Figura IV.130. Peso de la producción de frutos de nectarina en cada tratamiento de acolchado de suelo en los años de 2010 a 2012. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).

Aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas entre tratamientos, debe resaltarse que la producción comercial de fruta fue un 10 % superior en el acolchado plástico que en el suelo desnudo en 2010, un 12 % superior en 2011 y un 7% superior en 2012. Szewczuk y Gudarowska (2006) en una plantación de nectarina durante 8 años tampoco encontraron diferencias significativas entre la producción de dos tipos de acolchado de suelo (plástico, corteza de pino) y la de un tratamiento control con un herbicida.

La producción de fruta en los acolchados de geotextil y corteza de pino en el ensayo de nectarina fue similar a la del suelo desnudo. Szewczuk y Sosana (2001) tampoco encontraron efecto significativo de un acolchado del suelo con geotextil de polipropileno en el rendimiento y la calidad del fruto de un cultivo de manzano bajo riego. Sin embargo, otros investigadores encontraron que la corteza de pino mejoró la producción de un cultivo de manzano en comparación con el suelo desnudo (Kawecki et al. 1999; Ángel et al. 2001 citado por Szewczuk y Gudarowska (2006). También, Mika et al. (1998) mostraron en un cultivo de manzano que la corteza de pino o el serrín aumentaron el rendimiento de una manera significativa en comparación con un control sin cubierta. De forma similar, Bonanno y Lamont (1987), Van Derwerken y Wilox (1988), y Garcia (2008) encontraron que el plástico aumentó el rendimiento de diferentes cultivos en comparación con el suelo desnudo. Estas mejoras del rendimiento observadas por estos autores se deben probablemente a la conservación del agua del suelo y a un aumento de la temperatura del suelo durante el periodo de desarrollo del cultivo.

• Productividad

La productividad en (Kg cm^{-2}), expresada como el cociente entre la producción acumulada de frutos (Kg) durante el periodo experimental de 2010 a 2012 y la sección inicial del tronco (cm^2) de cada tratamiento de acolchado de suelo calculada se presenta en la Figura IV.131.

Las secciones medias del tronco de los árboles de nectarina utilizadas para la determinación de la productividad de 2010 a 2012 fueron los valores iniciales de 101, 100, 93 y 94 cm^{-2} para el plástico, suelo desnudo, geotextil y corteza de pino, respectivamente. No hubo diferencia significativa entre la productividad de los distintos tratamientos de acolchado. La productividad en el suelo desnudo fue menor que en el resto de tratamientos pero sin diferencias significativas.

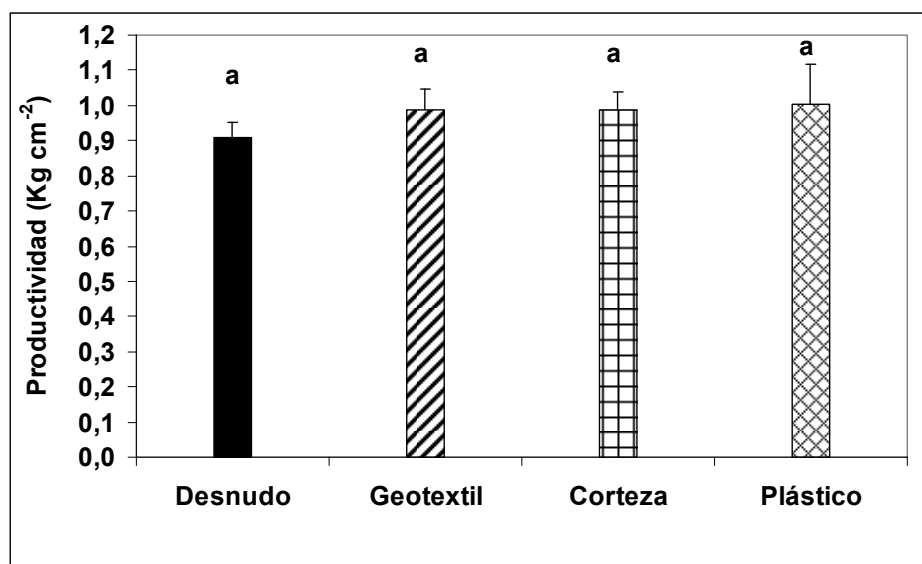


Figura IV.131. Productividad (Kg de fruta por cm² de sección de tronco en 2010) de cada tratamiento de acolchado de suelo de la nectarina durante el periodo experimental de 2010 a 2012. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).

- **Calidad del fruto**

Las variables de calidad analizadas en el fruto fueron: dimensiones, volumen, peso, pH, firmeza et alor de la piel. En el zumo se evaluó el pH, la acidez y °Brix.

Volumen y peso del fruto

En 2010 y 2011, no se detectaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el volumen y peso medio del fruto (valor medio de 40 frutos de nectarina tomados al azar en la primera cosecha) entre los tratamientos de acolchado del suelo (Figuras IV.132 y 133).

En 2012, el volumen medio del fruto en el tratamiento de corteza de pino fue estadísticamente superior al control de suelo desnudo ($P < 0.05$) y no se detectaron diferencias significativas entre los acolchados de corteza de pino, geotextil y plástico. Resultados muy similares se obtuvieron para el peso medio del fruto que en los tratamientos de plástico y corteza de pino fue estadísticamente superior al control de suelo desnudo ($P < 0.05$). No se detectaron diferencias significativas entre los acolchados de corteza de pino, geotextil y plástico (Figuras IV.132 y 133).

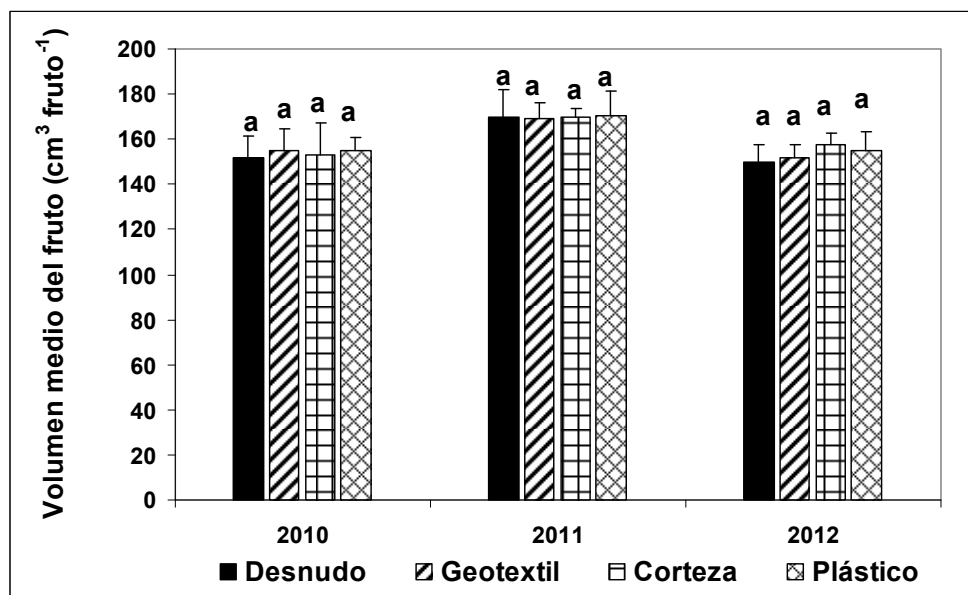


Figura IV.132. Volumen medio del fruto de los distintos tratamientos de acolchado de nectarina en el cosechado final del periodo experimental de 2010 a 2012. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).

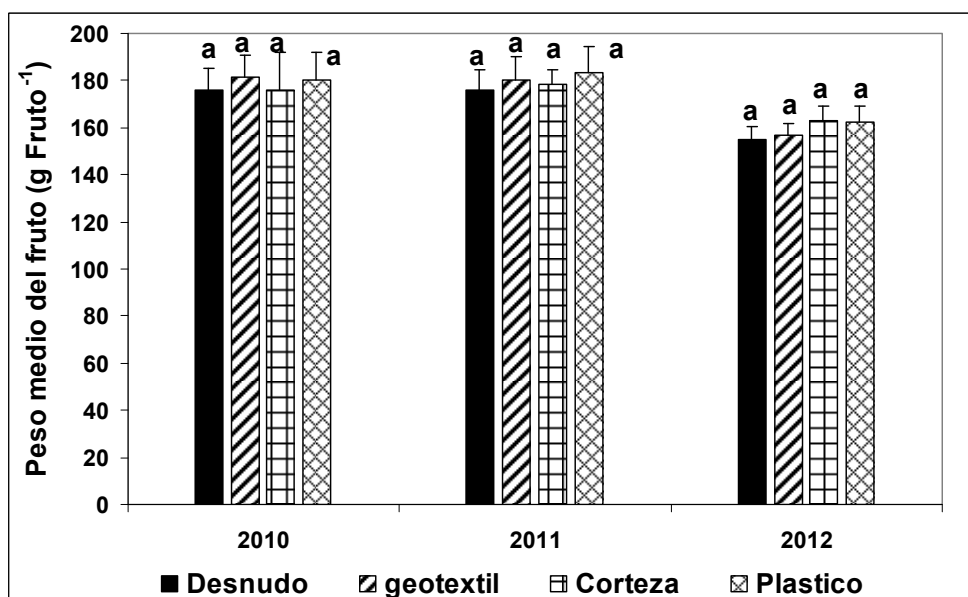


Figura IV.133. Peso medio del fruto de los distintos tratamientos de acolchado de nectarina en el cosechado final del periodo experimental de 2010 a 2012. Las líneas verticales encima de las barras indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).

Estos resultados fueron confirmados por Wolstenholme et al. (1997) que encontraron en un ensayo de tres años de un cultivo de aguacate que el acolchado con corteza de pino aumentó de una manera significativa el peso y el número de frutos en comparación con el control de suelo desnudo.

Tal como cabía esperar, se encontró una alta correlación entre peso y volumen del fruto ($R^2 = 88\%$) (Figura IV.134).

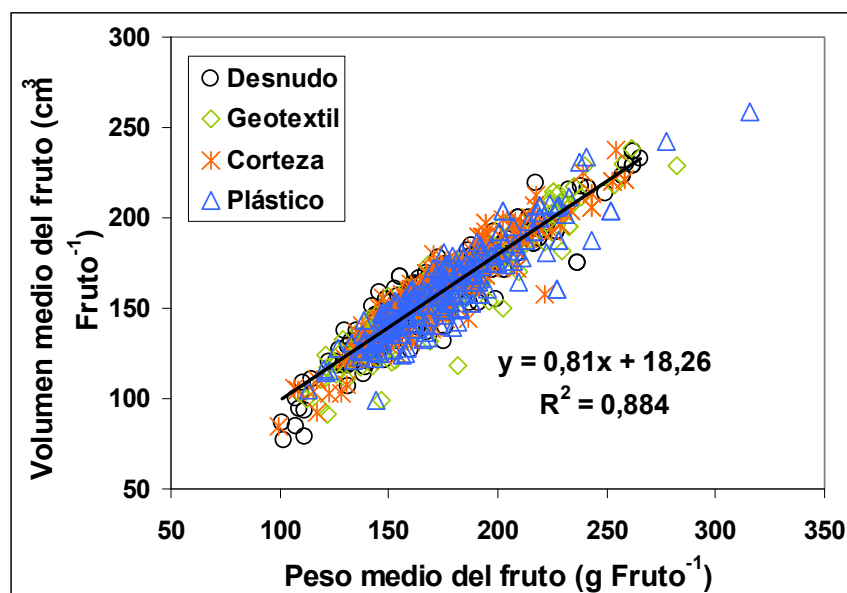


Figura IV.134. Regresión lineal entre el peso medio y el volumen medio de los frutos de la nectarina para el conjunto de tratamientos de acolchado del suelo durante el periodo experimental de 2010 a 2012.

pH, firmeza et color del fruto, y pH, °Brix y acidez del zumo

En la Tabla IV.74 se presentan los valores medios de los parámetros de calidad del fruto evaluados para cada tratamiento de acolchado de suelo. El color de la piel del fruto se determinó mediante la escala CIELAB (L^* , a^* , b^*) donde la L^* indica la posición del color en el eje de la luminosidad del color, y los dos ejes ortogonales del plano de cromaticidad del color, a^* y b^* , representan, en base al criterio de los colores oponentes, la variación rojo-verde (a^*) y amarillo-azul (b^*).

Los análisis de varianza aplicados a los diferentes parámetros de calidad evaluados indican que en el año 2010 no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) de los distintos parámetros de calidad estudiados entre los tratamientos de acolchado.

En el año 2011, se detectó una diferencia estadísticamente significativa entre en el diámetro perpendicular a la sutura del tratamiento plástico y el control de suelo desnudo mostrando un mayor calibre en el tratamiento de acolchado plástico. En los parámetros del color de la piel del fruto se observó una diferencia estadísticamente significativa en la coordenada colorimétrica L^* entre el control de suelo desnudo y el tratamiento de corteza de pino indicando un color de piel más brillante para el tratamiento corteza de pino y un color de piel más oscuro en el caso del suelo desnudo.

En cuanto a los parámetros químicos se encontró una diferencia significativa en el contenido de sólidos solubles del fruto (°Brix) que fue mayor en el suelo desnudo (13.4) que en la corteza de pino (12.6). El contenido de los sólidos solubles en el zumo, varió entre 11.6 °Brix en el tratamiento corteza de y 12.2 °Brix en el resto de tratamientos aunque sin diferencias significativas entre tratamientos.

En 2012, los tratamientos corteza de pino y plástico tuvieron los mayores diámetros perpendiculares a la sutura en comparación con el control de suelo desnudo y el geotextil con diferencias significativas. Se detectaron diferencias significativas en el °Brix del fruto entre los tratamientos de acolchado del suelo con valores más altos en el plástico (14.0 °Brix) seguido por los tratamientos corteza de pino y geotextil mientras que el suelo desnudo tuvo el valor más bajo. El valor más alto de la firmeza se observó en el tratamiento geotextil con diferencias significativas en comparación con los tratamientos corteza de pino y plástico. Las coordenadas colorimétricas L^* y b^* fueron más elevados en el caso de los tratamientos

corteza de pino y plástico con diferencias significativas en comparación con el geotextil. Estos resultados indican que L^* y b^* son más altos cuando el color visual de la piel es más intenso. Esto puede atribuirse al hecho de que los frutos del tratamiento geotextil se vuelven más oscuros y adquieren un tono rojo oscuro antes de los tratamientos corteza de pino y plástico. En cuanto a la calidad del zumo, la única diferencia significativa se observó en el pH, indicando un valor más alto en el plástico en comparación con el suelo desnudo.

De forma global, los acolchados del suelo indujeron un ligero aumento del calibre del fruto. En general, los tratamientos geotextil y corteza de pino tuvieron un contenido de sólidos solubles ligeramente inferior que el plástico y el suelo desnudo debido probablemente a la reducción de la temperatura de suelo en los meses del verano.

En el análisis de las distintas variables estudiadas tanto productivas como de calidad del fruto, se han visto indicios de que el tratamiento de acolchado plástico sería en general el más recomendable desde un punto de vista comercial. Sin embargo los análisis estadísticos no llegan a confirmar con claridad la recomendación del acolchado plástico frente a los otros acolchados e incluso con el suelo desnudo.

Tabla IV.74. Comparación de los valores medios del pH, firmeza et color del fruto, y pH, °Brix y acidez del zumo de los distintos tratamientos de acolchado de la nectarina en los años 2010 a 2012.

Características fisicoquímicas		Desnudo	Geotextil	Corteza	Plástico
2010					
Fruto	Altura (mm)	66.7a	66.6a	65.9a	66.2a
	Ø sutura (mm)	64.6a	65.5a	65.1a	65.9a
	Ø perp sutura (mm)	67.0a	67.5a	67.6a	67.2a
	pH fruto	3.5a	3.5a	3.4a	3.5a
	Firmeza	85.0a	84.8a	84.8a	84.8a
	L^*	39.5a	39.9a	40.3a	39.8a
	a^*	31.6a	31.2a	31.5a	32.4a
	b^*	14.3a	17.5a	17.8a	17.6a
Zumo	pH zumo	3.7a	3.7a	3.7a	3.6a
	°Brix zumo	13.9a	12.8a	13.6a	13.6a
	Acidez (g/L ac. Málico)	6.8a	6.9a	6.6a	7.0a
2011					
Fruto	Altura (mm)	67.9a	68.5a	67.8a	68.2a
	Ø sutura (mm)	65.4a	65.4a	66.0a	65.9a
	Ø perp sutura (mm)	66.5a	67.4ab	67.3ab	68.2b
	pH fruto	3.5a	3.5a	3.5a	3.4a
	°Brix fruto	13.4b	13.0ab	12.6a	13.3b
	Firmeza	88.9a	88.5a	88.7a	88.8a
	L^*	37.1a	37.9ab	38.7b	38.3ab
	a^*	32.1a	32.2a	32.4a	33.0a
b^*	14.7a	15.4a	16.3a	16.6a	

Tabla IV.74 (continuación). Comparación de los valores medios del pH, firmeza et color del fruto, y pH, °Brix y acidez del zumo de los distintos tratamientos de acolchado de la nectarina en los años 2010 a 2012.

Características fisicoquímicas	Desnudo	Geotextil	Corteza	Plástico
pH zumo	4.2a	4.2a	4.2a	4.3a
Zumo °Brix zumo	12.2a	12.2a	11.6a	12.2a
Acidez (g/L ac. Málico)	5.3a	5.2a	5.1a	5.4a
2012				
Altura (mm)	67.5a	67.6a	68.1a	67.6a
Ø sutura (mm)	64.4a	64.4a	65.1a	64.7a
Ø perp sutura (mm)	65.6a	66.4a	67.7b	67.5b
pH fruto	3.9a	3.8a	3.8a	3.8a
Fruto °Brix fruto	12.6a	13.2b	13.3b	14.0c
Firmeza	86.8ab	88.3b	85.5a	85.5a
L*	39.4ab	38.1a	40.0b	39.8b
a*	32.6a	31.8a	32.9a	33.4a
b*	16.1ab	14.3a	17.1b	16.8b
pH zumo	3.75a	3.9ab	3.85ab	3.9b
Zumo °Brix zumo	13.4a	12.8a	13.3a	13.6a
Acidez (g/L ac. Málico)	6.0a	5.8a	6.2a	6.0a

IV.3.4.7. Eficiencia de uso de agua de riego

El acolchado de suelo no tuvo un efecto significativo en la eficiencia de uso del agua de riego (Figura IV.135). Sin embargo se puede observar que el tratamiento de acolchado plástico tuvo una tendencia a tener los mayores valores de la EUAR en los tres años del ensayo. Esto puede atribuirse a una mayor producción y a la reducción de la evaporación del suelo. Resultados similares de mejora de la eficiencia de uso del agua de riego se encontraron en un cultivo de pimiento (Van Derwerken y Wilcox, 1988) y en un cultivo de maíz en una zona semiárida (Fisher, 1995). Asimismo, Zhou et al. (2009) también encontraron que la EUAR del maíz bajo plástico fue mayor que la EUAR del suelo desnudo, pero sin diferencias significativas entre los tratamientos.

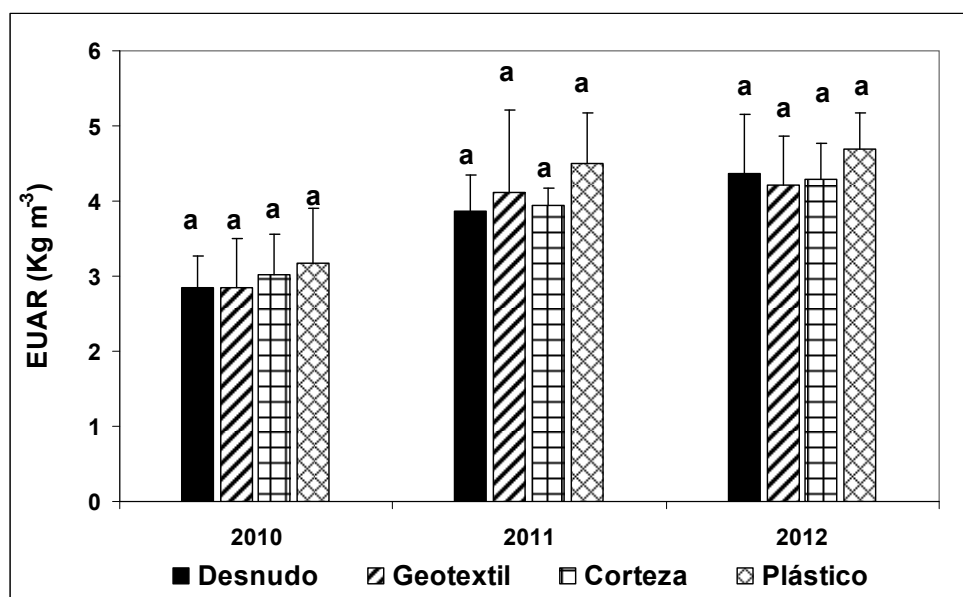


Figura IV.135. Eficiencia de uso del agua de riego (EUAR) de los diferentes sistemas de acolchado de suelo en el periodo experimental del ensayo de nectarina. Las líneas verticales indican el valor de la desviación estándar. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).

IV.3.4.8. Análisis iónico foliar

Aunque la salinidad edáfica aumentó a lo largo de las estaciones de riego, la concentración foliar de Na y Cl fue muy baja. Esta concentración fue similar en los muestreos efectuados en mayo, julio y septiembre del 2010. En 2011, hubo un incremento de la concentración foliar de Na y Cl desde mayo hasta septiembre en todos los tratamientos de acolchado de suelo. A pesar de estos incrementos, en todos los casos, los porcentajes del contenido foliar de Na y Cl fueron inferiores al 0.07 y 0.23%, respectivamente para el conjunto de todas las medidas efectuadas en 2010 y 2011 y similares para todos los tratamientos (Tabla IV.75). Ante estos valores tan bajos, se decidió no efectuar este análisis en el año 2012.

Tabla IV.75. Porcentaje de cloruro (Cl) y sodio (Na) (base peso seco) en las hojas de nectarina de los distintos tratamientos de acolchado en tres fechas de los años 2010 y 2011. Los tratamientos con la misma letra no fueron significativamente diferentes ($P > 0.05$).

Fecha Muestreo	Desnudo		Geotextil		Corteza de pino		Plástico	
	Na (%)	Cl (%)	Na (%)	Cl (%)	Na (%)	Cl (%)	Na (%)	Cl (%)
2010								
19/05/2010	0.02a	0.15a	0.04a	0.23a	0.03a	0.19a	0.03a	0.23a
14/07/2010	0.04a	0.05a	0.04a	0.07a	0.05a	0.06a	0.06a	0.06a
16/09/2010	0.03a	0.07a	0.03a	0.06a	0.03a	0.06a	0.03a	0.06a
2011								
19/05/2011	0.02a	0.04a	0.02a	0.04a	0.02a	0.04a	0.02a	0.04a
13/07/2011	0.04a	0.07a	0.05a	0.06a	0.03a	0.09a	0.04a	0.07a
13/09/2011	0.06a	0.14a	0.06a	0.15a	0.07a	0.15a	0.07a	0.15a

Según la FAO (1985), para los cultivos sensibles a la salinidad como la nectarina, los daños foliares se producen cuando las hojas acumulan de 0.3 a 1% de Cl en el total de la materia

seca. En cuanto al sodio, la toxicidad foliar se produce cuando las hojas acumulan de 0.25 a 0.5% de Na en el total de la materia seca. Estos valores bajos pueden deberse a que los árboles de nectarina extraen el agua próxima al gotero, donde la salinidad es baja (CEss media de todos los tratamientos = 2.1 dS m⁻¹ en 2010 y 1.5 en 2011).

IV.3.5. Relaciones suelo-agua-planta

La producción y calidad de la nectarina está controlada por un elevado número de variables entre las que hay que destacar fundamentalmente el estado hídrico del suelo y de la propia planta, la salinidad del suelo, la fertilización y las condiciones climáticas a lo largo del ciclo del cultivo. En este apartado se analizan las relaciones existentes entre la producción de frutos productividad y calidad organoléptica de los frutos de nectarina en función de distintas variables del suelo y del cultivo. Entre estas variables, se estudian con especial detalle la humedad, salinidad y temperatura en la zona radicular ya que estas variables han sido las más afectadas por los tratamientos de acolchado del suelo.

En el estudio de la salinidad y de la humedad del suelo, de las tres posiciones de muestreo (G, LG y LA), se han seleccionado los valores medios de las posiciones G y LG por ser aquellas en las que se concluyó que se producía la mayor tasa de extracción de agua del suelo por las raíces de la nectarina tal como se ha discutido anteriormente.

IV.3.5.1. Efecto de la humedad volumétrica en el potencial hídrico del tallo

La Figura IV.136 muestra que existe una relación de tipo potencial con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.51 entre el potencial de tallo a mediodía solar (Ψ_{tallo}) y el contenido volumétrico medio de agua en el perfil del suelo de 0 a 30 cm de profundidad medido con la sonda Enviroscan en la posición gotero en el mismo día en que se efectuó la lectura de Ψ_{tallo} . Los valores de la Figura IV.136 corresponden al conjunto de observaciones de los cuatro tratamientos de acolchado en los años 2010 y 2011. Sin embargo, debe tenerse en cuenta la distribución no normal de las observaciones.

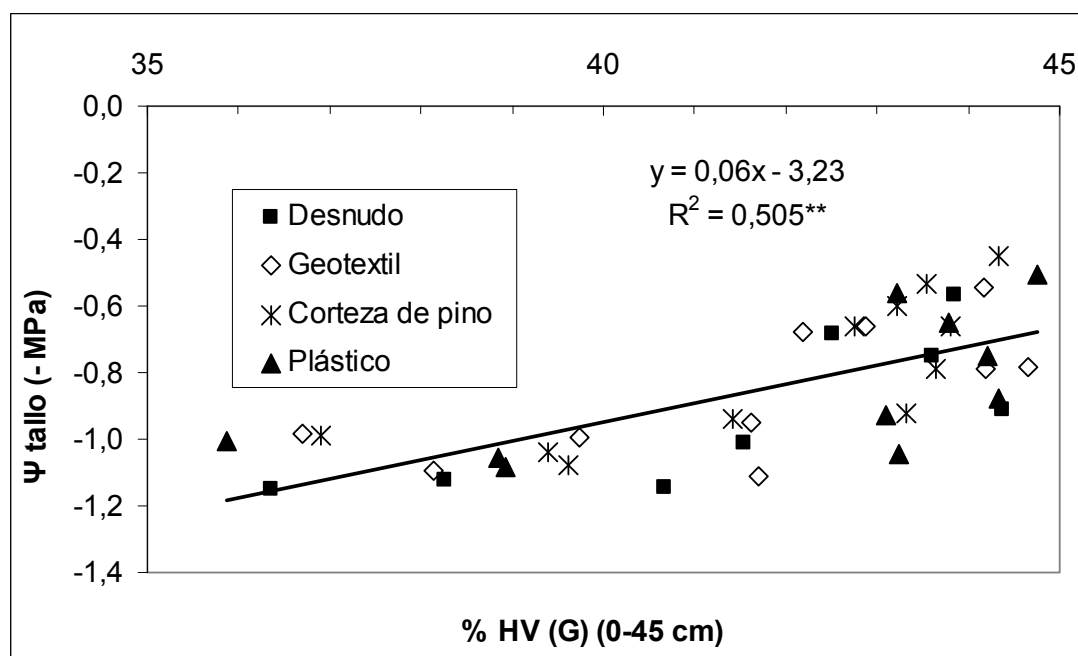


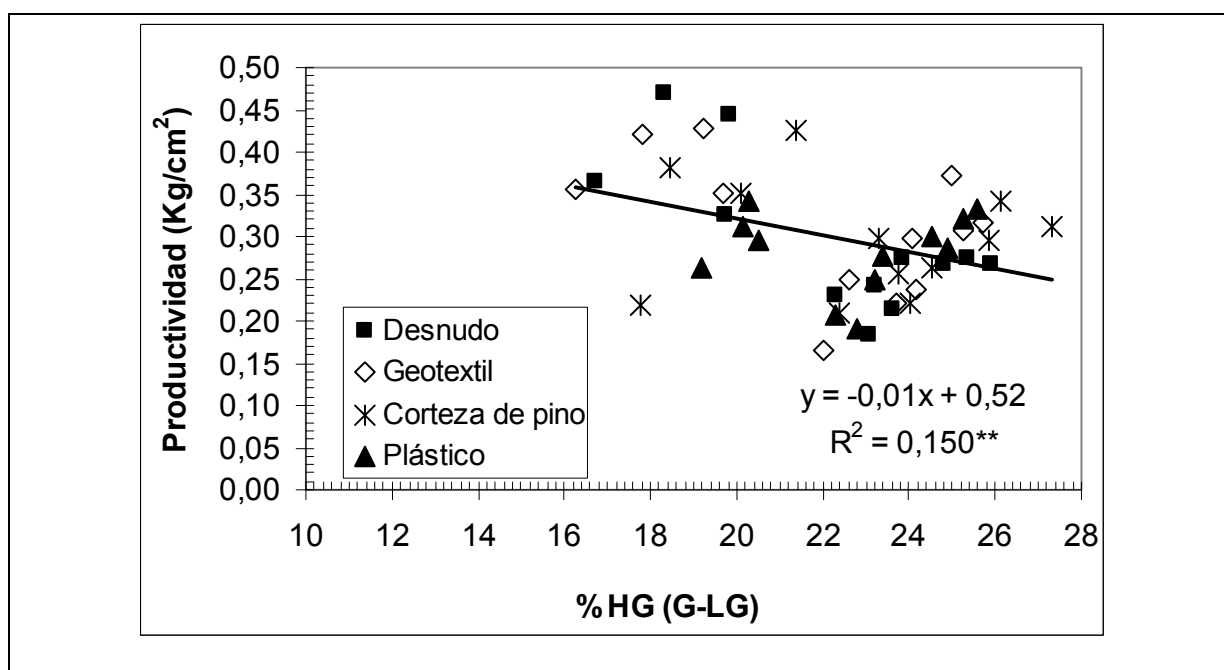
Figura IV.136. Relación entre el potencial hídrico del tallo a mediodía solar (Ψ_{tallo}) y el contenido medio de agua en el suelo medido el mismo día con la sonda Enviroscan en la posición gotero en el perfil de suelo de 0 a 30 cm. Cada punto corresponde a la media de tres a cinco repeticiones.

Los valores más bajos del Ψ_{tallo} , próximos a -1.2 MPa se obtuvieron para valores de HV inferiores al 36%. Estos valores se midieron en el mes de julio, mes de máxima demanda evaporativa del frutal. Estos resultados concuerdan con los resultados de la humedad volumétrica que mostraron un descenso del contenido hídrico del suelo durante los meses de julio y agosto. Sin embargo estos valores del Ψ_{tallo} no son indicadores de estrés hídrico en la nectarina. La relación encontrada entre el contenido volumétrico de agua en el perfil de suelo de 0 a 30 cm de profundidad y el potencial hídrico de tallo a mediodía fue similar a la encontrada en melocotonero por Goldhamer *et al.* (1999).

IV.3.5.2. Efecto de la humedad gravimétrica del suelo en la producción, productividad, precocidad y calidad de fruto

IV.3.5.2.1. Efecto de la humedad gravimétrica del suelo sobre la producción y productividad y número de frutos de la nectarina

Aunque hubo una variabilidad considerable en la producción de fruta (Kg/árbol) y en la productividad de los árboles (Kg/cm² de tronco) de nectarina (Figura IV.137) bajo los diferentes sistemas de acolchado, se puede observar que para el conjunto de observaciones de los distintos tratamientos de acolchado del suelo existe una cierta tendencia de la producción de fruta y de la productividad a disminuir con la humedad gravimétrica media de los muestreos efectuados en marzo y septiembre de los años 2010 a 2012. Los coeficientes de determinación de las regresiones lineales obtenidas han sido significativos pero con valores muy bajos, de 0.155 para la producción de fruta y de 0.150 para la productividad del frutal expresada en kg de fruta por cm² de sección de tronco del árbol. El número de frutos por árbol también mostró alta variabilidad pero se observó una relación lineal significativa con un valor del coeficiente de determinación de 0.271 (Figura IV.138).



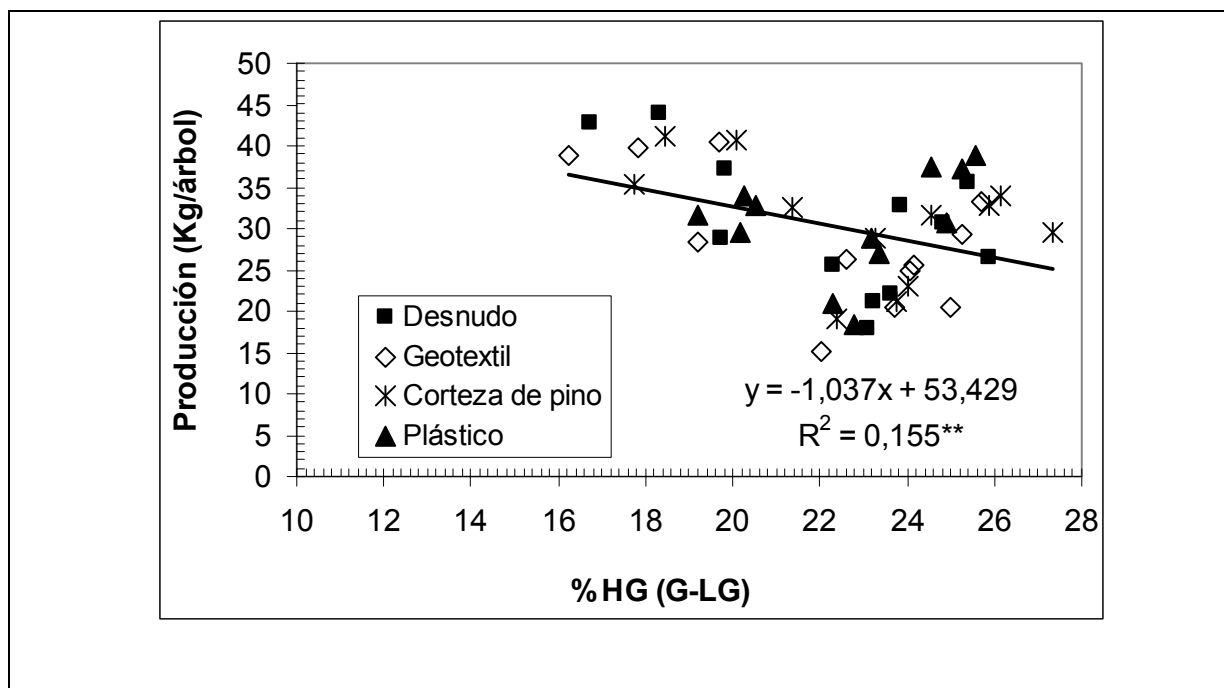


Figura IV.137. Relación entre la humedad gravimétrica (HG) media en el gotero (G) y en la línea de goteros (LG) para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de los muestreos efectuados en marzo y septiembre de 2010 y la productividad y la producción de la nectarina. Cada punto corresponde a una repetición.

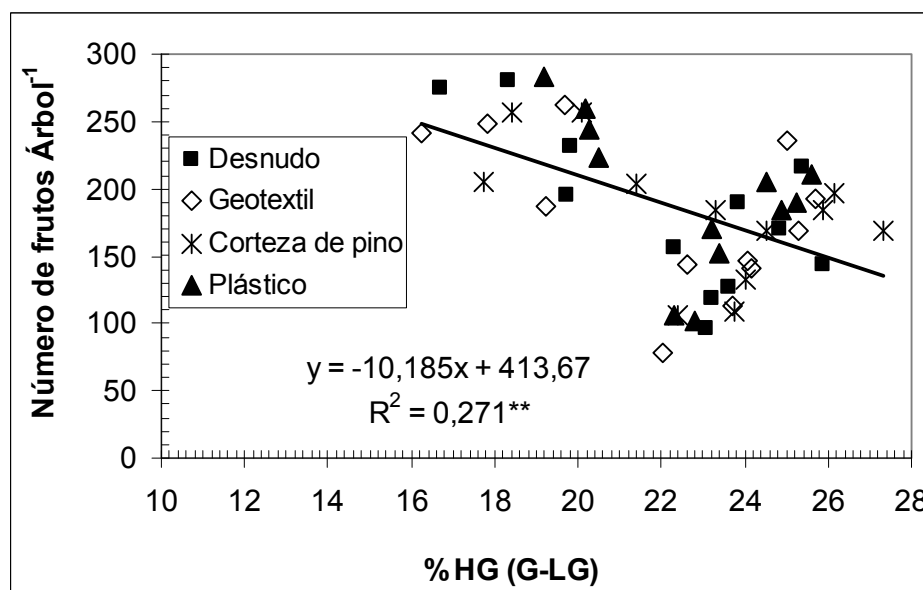


Figura IV.138. Relación entre el número de frutos por árbol y el valor medio de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida junto al gotero (G) y en la línea de goteros (LG) para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de los muestreos efectuados en marzo y septiembre en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.

IV.3.5.2.2. Efecto de la humedad gravimétrica del suelo sobre la precocidad de la nectarina

La Figura IV.139 muestra la relación existente entre la precocidad, expresada como el porcentaje de frutos recogidos en la primera pasada respecto a la producción total de fruta, y

el valor medio de la humedad gravimétrica (HG) del suelo junto al gotero y en la línea de goteros para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de profundidad y para los tres años de estudio de 2010 a 2012. Los valores de la precocidad en el año 2012 fueron muy bajos debido a que la primera recolección fue muy temprana en este año y por ello había un bajo porcentaje de frutos maduros. Asimismo la HG media del suelo en ese año fue notablemente inferior que en los años 2010 y 2011. Por esta razón las observaciones de este año no fueron incluidas en la regresión lineal, así para los años 2010 y 2011 se encontró una relación lineal significativa con un coeficiente de determinación del 0.473. Esta relación indica que los árboles de nectarina que tuvieron menor humedad de suelo tuvieron una producción más precoz, lo que permite concluir que la mayor humedad del suelo retrasó la maduración de la nectarina. No se observó un efecto de los tratamientos de acolchado en esta relación.

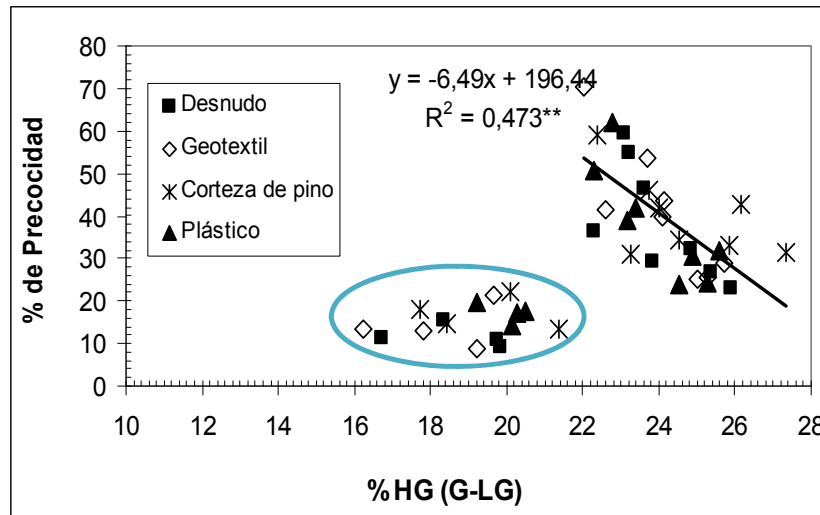


Figura IV.139. Relación entre la precocidad de la nectarina (% de precocidad) y el valor medio de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida junto al gotero (G) y en la línea de goteros (LG) para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de los muestreos efectuados en marzo y septiembre en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición. Las observaciones dentro de la elipse punteada corresponden al año 2012.

IV.3.5.2.3. Efecto de la humedad gravimétrica del suelo sobre la calidad del fruto de la nectarina

En esta sección se analizan las relaciones existentes para el conjunto de tratamientos de acolchado entre los distintos parámetros de calidad de la fruta de nectarina y la humedad gravimétrica (HG) media en el gotero (G) y en la línea de goteros (LG) para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de los muestreos efectuados en marzo y septiembre de 2010 a 2012.

Los parámetros de calidad de la nectarina estudiados han sido: peso medio del fruto, firmeza, °Brix y acidez. Para el conjunto de tratamientos de acolchado se encontró una relación lineal significativa entre el peso medio del fruto y la HG con un coeficiente de determinación de 0.412 (Figura IV.140). Se observa que el aumento de HG implica un ligero aumento del peso medio del fruto y no se observa efecto de los tratamientos de acolchado.

En cuanto a la firmeza del fruto, hubo una alta variabilidad y no se encontró una relación significativa entre este parámetro y la HG (Figura IV.141). Se encontró una relación lineal significativa entre el contenido de azúcar del zumo (°Brix) y la HG con un valor del coeficiente de determinación de 0.212 (Figura IV.142).

Para el conjunto de los tratamientos de acolchado la acidez del zumo en los frutos cosechados de nectarina también estuvo relacionada con la HG. Se encontró una relación lineal significativa de la acidez con la HG con un valor del coeficiente de determinación de

0.141 (Figura IV.143). Se observó un ligero descenso del valor de °Brix y de la acidez en el zumo de la nectarina al aumentar el valor medio de HG.

En general estas relaciones de los distintos parámetros de calidad del fruto de nectarina efectuadas para el conjunto de todos los tratamientos de acolchado y durante los tres años de estudio con la humedad gravimétrica (HG) media en las posiciones gotero (G) y línea de goteros (LG) muestran unas relaciones que en muchos casos son significativas pero con valores bajos de los coeficientes de determinación.

Estos resultados son debidos fundamentalmente al propio efecto de los tratamientos de acolchado en las variables estudiadas, a la variabilidad encontrada de estas variables en las distintas repeticiones, a la variabilidad interanual y muy probablemente a la escasa sensibilidad del valor medio de la HG ya que este valor de HG corresponde únicamente al valor medio de las medidas en primavera y otoño y en dos posiciones de medida en el perfil de 0 a 45 cm de profundidad.

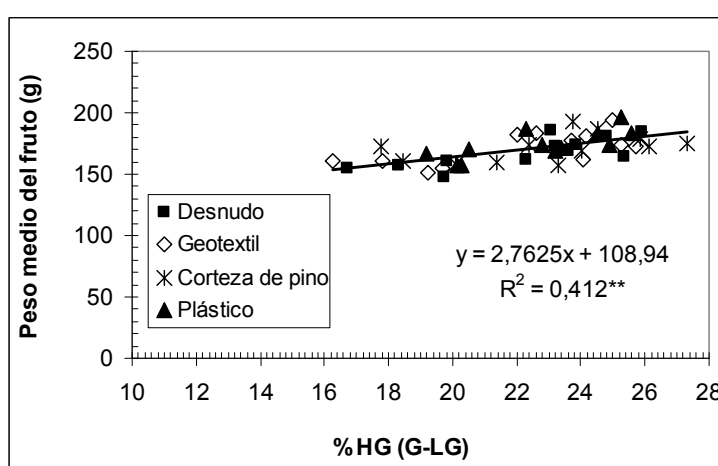


Figura IV.140. Relación entre el peso medio del fruto de la nectarina y el valor medio de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida junto al gotero (G) y en la línea de goteros (LG) para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de los muestreos efectuados en marzo y septiembre en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.

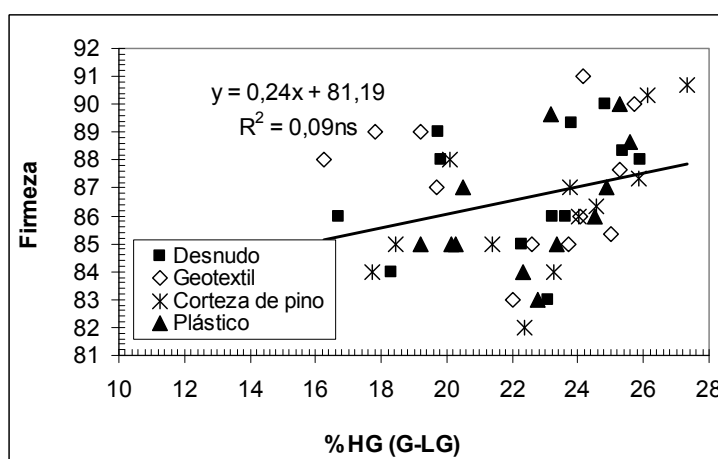


Figura IV.141. Relación entre la firmeza del fruto de nectarina y el valor medio de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida junto al gotero (G) y en la línea de goteros (LG) para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de los muestreos efectuados en marzo y septiembre en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.

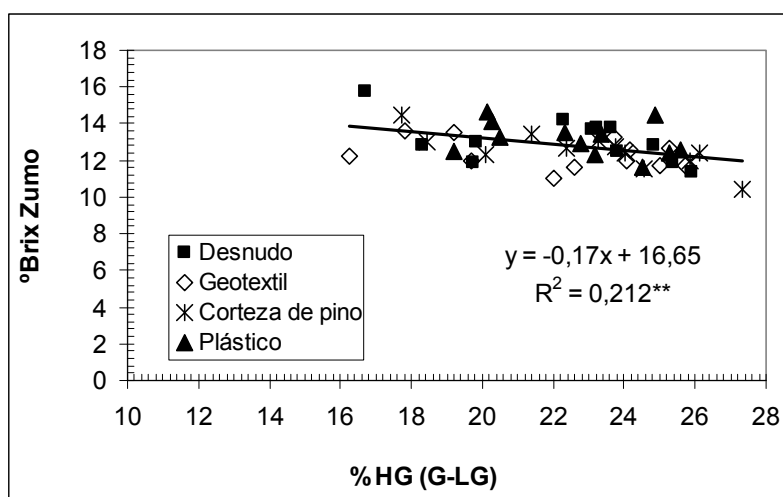


Figura IV.142. Relación entre el contenido de azúcar del zumo (°Brix) de la nectarina y el valor medio de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida junto al gotero (G) y en la línea de goteros (LG) para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de los muestreos efectuados en marzo y septiembre en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.

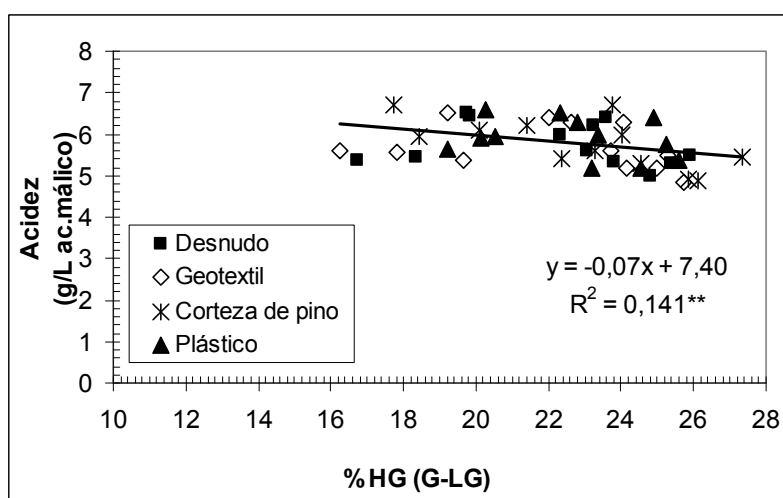


Figura IV.143. Relación entre la acidez del zumo de la nectarina y el valor medio de la humedad gravimétrica del suelo (HG) medida junto al gotero (G) y en la línea de goteros (LG) para el perfil de suelo de 0 a 45 cm de los muestreos efectuados en marzo y septiembre en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.

IV.3.5.3. Efecto de temperatura del suelo en la producción, productividad, precocidad y calidad de fruto

IV.3.5.3.1. Efecto de temperatura del suelo en la producción, productividad y el número de frutos de la nectarina

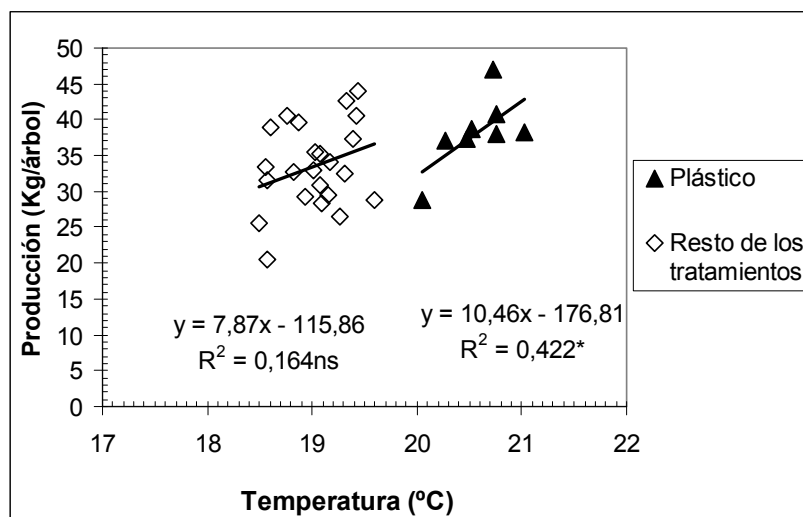
Entre los distintos factores que afectan a la producción y calidad de la nectarina, la temperatura del suelo a lo largo del ciclo del cultivo juega un papel muy importante. En los distintos apartados de esta tesis se ha puesto de manifiesto que los distintos tratamientos de acolchado del suelo han producido un importante efecto en evolución de la temperatura del suelo (ver apartado IV.3.3.3.).

La producción y calidad de la nectarina puede verse afectada por la temperatura del suelo en dos periodos muy diferentes del cultivo. En un primer periodo que va desde brotación a la cosecha (periodo de marzo a junio), el efecto de la temperatura del suelo se refleja en el desarrollo del fruto de la nectarina. Asimismo las condiciones de cultivo en un segundo periodo desde la cosecha de la nectarina hasta la caída de hojas (de julio a octubre) tienen un efecto en el número potencial de frutos y producción y calidad en el año siguiente.

Por otro lado la producción de la nectarina depende del cumplimiento de las necesidades de horas-frío invernales. Para la variedad de nectarina Big Top® utilizada en el ensayo estas necesidades de frío se cifran en 600-800 horas frío. Para las principales zonas de cultivo de frutales de Aragón, el recuento de horas de frío debe iniciarse cuando la planta muestra una caída de hojas significativa (sobre el 50%). Como este parámetro es difícil de cuantificar, el cómputo se suele iniciar después de la primera helada. De acuerdo a los datos meteorológicos de las campañas de 2010, 2011 y 2012, las horas-frío acumuladas (número de horas con temperatura del aire inferior a 7.2 °C) del 1 de noviembre a 31 de marzo fueron de 1417, 1569 y 1280, respectivamente (Espada, 2013, comunicación personal). De estos datos se deduce que en los tres años de estudio las necesidades de horas-frío de la nectarina se cumplieron holgadamente.

Por las razones comentadas las variables indicadoras de la producción y calidad de la nectarina en este apartado se han relacionado con la temperatura media del suelo en el periodo que comprende los meses de marzo a junio del año en curso y los meses de julio a octubre del año anterior. Por esta razón en este apartado solo se presentan los datos de 2011 y 2012 ya que las medidas de la temperatura del suelo se empezaron en abril de 2010 y por tanto faltaban las medidas temperatura del suelo de marzo de 2010 y de julio a octubre de 2009 para poder incluir los datos de 2010. Los resultados de las relaciones de producción de frutos, productividad y calidad organoléptica del fruto con la temperatura se presentan en las Figuras IV.144 a IV.148. En todas estas figuras se observa un comportamiento diferenciado del tratamiento de acolchado plástico respecto al resto de tratamientos de acolchado. El tratamiento de acolchado plástico tuvo las temperaturas de suelo más elevadas que el resto de los tratamientos y por ello estas relaciones se han separado para el plástico y para el resto de tratamientos de acolchado.

Para el tratamiento de plástico se encontró una relación significativa y positiva entre la producción y la productividad de la nectarina y el valor medio de la temperatura diaria del suelo para los años 2011 y 2012. Estas variables aumentaron linealmente al aumentar la temperatura del suelo. Los valores del coeficiente de determinación (R^2) de las regresiones lineales de la producción y productividad del tratamiento de acolchado plástico fueron de 0.42 y 0.57, respectivamente (Figura 144). Las mismas relaciones en el resto de los tratamientos de acolchado no fueron estadísticamente significativas.



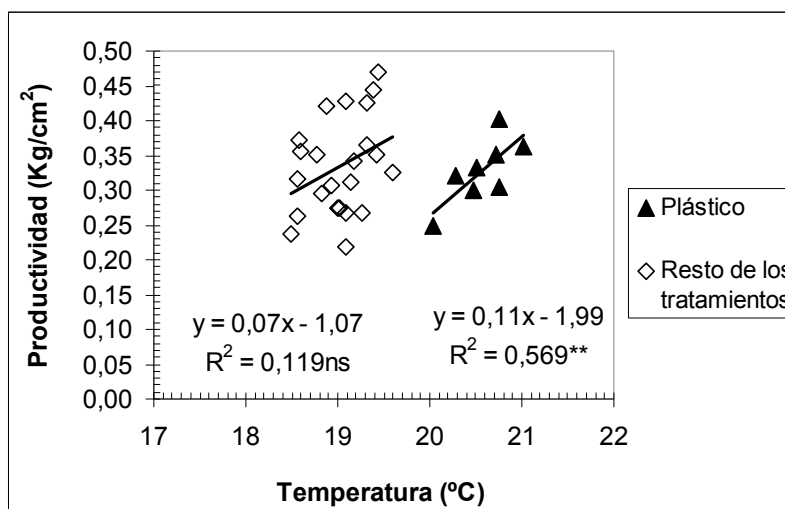


Figura IV.144. Relación entre la producción y la productividad de la nectarina y el valor medio de la temperatura diaria del suelo a 20 cm de profundidad en los meses de marzo a junio del año actual y meses de julio a octubre del año anterior en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2011 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.

Las correlaciones obtenidas entre el número de frutos árbol⁻¹ y la temperatura del suelo fueron similares a las obtenidas en la producción y productividad de la nectarina, significativa para el tratamiento de plástico ($R^2 = 0,65$) y no significativa para el resto de tratamientos de acolchado (Figura IV.145). Estos resultados confirman los resultados de varios trabajos en los que se utilizaron coberturas de plástico de distintos colores en cultivos de hortalizas tales como el pepino (Ibarra-Jiménez et al., 2008), tomate (Díaz-Pérez y Batal, 2002) y sandía (Ibarra-Jiménez et al., 2006).

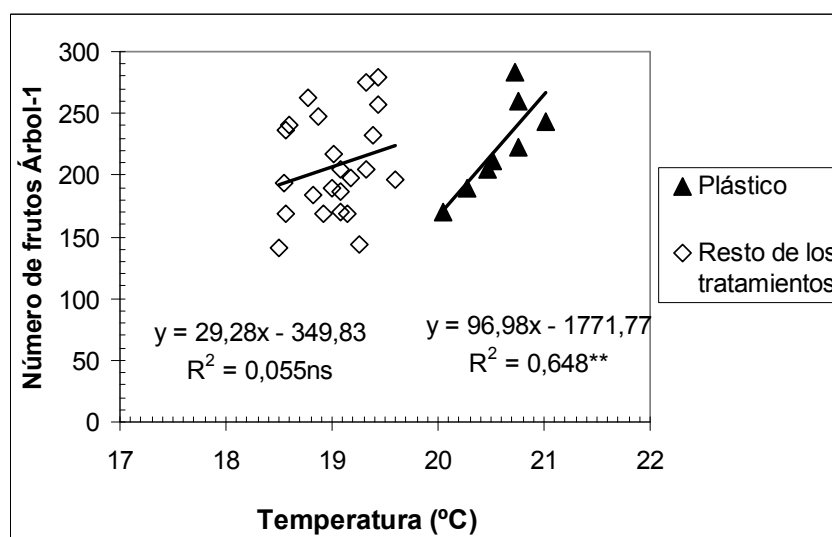


Figura IV.145. Relación entre el número de frutos por árbol y el valor medio de la temperatura diaria del suelo a 20 cm de profundidad en los meses de marzo a junio del año actual y meses de julio a octubre del año anterior en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.

IV.3.5.3.2. Efecto de la temperatura del suelo sobre la precocidad de la nectarina

Se obtuvieron relaciones lineales negativas y significativas entre la precocidad de la nectarina (expresada como el porcentaje del peso de fruta recogida en la primera pasada

respecto a la producción total) para el tratamiento de plástico ($R^2 = 0.70$) y para el resto de tratamientos ($R^2 = 0.22$) (Figura IV.146). Estos resultados no fueron los esperados ya que en principio el aumento de la temperatura del suelo favorecería el aumento de la precocidad de los frutos de la nectarina. Hay que tener en cuenta que esta medida de la precocidad es muy subjetiva ya que depende de la fecha de la primera pasada de cosecha.

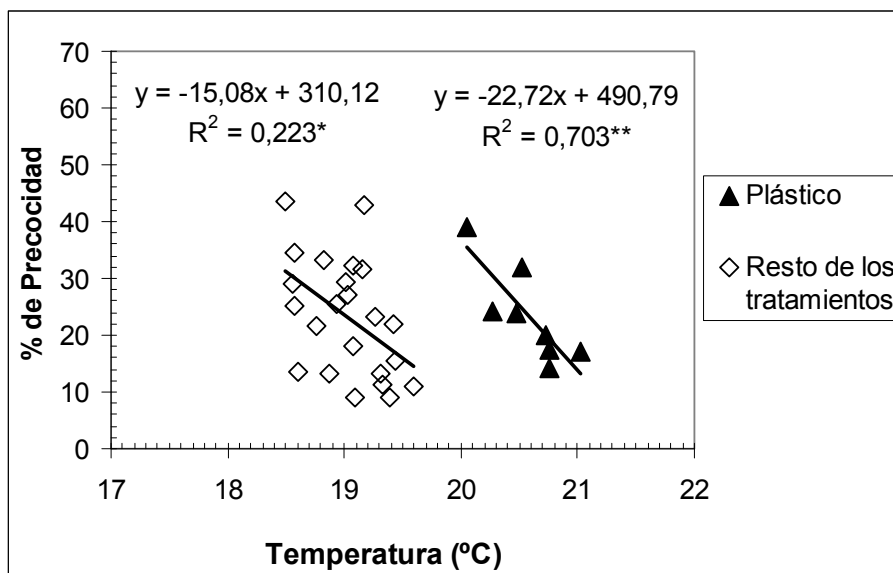


Figura IV.146. Relación entre la precocidad de la nectarina (% de precocidad) determinada como el porcentaje del peso de fruta recogida en la primera pasada respecto a la producción total y el valor medio de la temperatura diaria del suelo a 20 cm de profundidad en los meses de marzo a junio del año actual y meses de julio a octubre del año anterior en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.

IV.3.5.3.3. Efecto de la temperatura del suelo sobre la calidad del fruto de la nectarina

Para el tratamiento de plástico se encontró una relación significativa y positiva entre el contenido de azúcar (°Brix) y acidez del zumo de la nectarina con el valor medio de la temperatura diaria del suelo para los años 2011 y 2012. Estas variables aumentaron linealmente al aumentar la temperatura del suelo. Los valores del coeficiente de determinación (R^2) de las regresiones lineales de °Brix y acidez del zumo del tratamiento de acolchado plástico fueron de 0.46 y 0.62, respectivamente (Figuras IV.147 y IV.148).

La relación entre el contenido de azúcar (°Brix) del zumo de nectarina y la temperatura del suelo en el resto de tratamientos de acolchado no fue significativa. Sin embargo la relación entre la acidez del zumo y la temperatura del suelo para el resto de tratamientos fue significativa y positiva ($R^2 = 0.29$).

En general los resultados indican que el aumento de la temperatura del suelo favorece la producción y mejora la calidad del fruto de la nectarina.

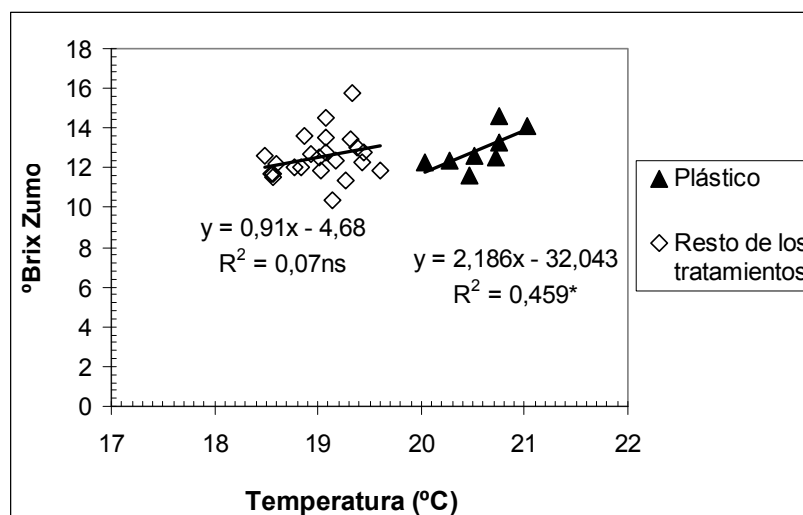


Figura IV.147. Relación entre el contenido de azúcar del zumo (°Brix) de la nectarina y el valor medio de la temperatura diaria del suelo a 20 cm de profundidad en los meses de marzo a junio del año actual y meses de julio a octubre del año anterior en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.

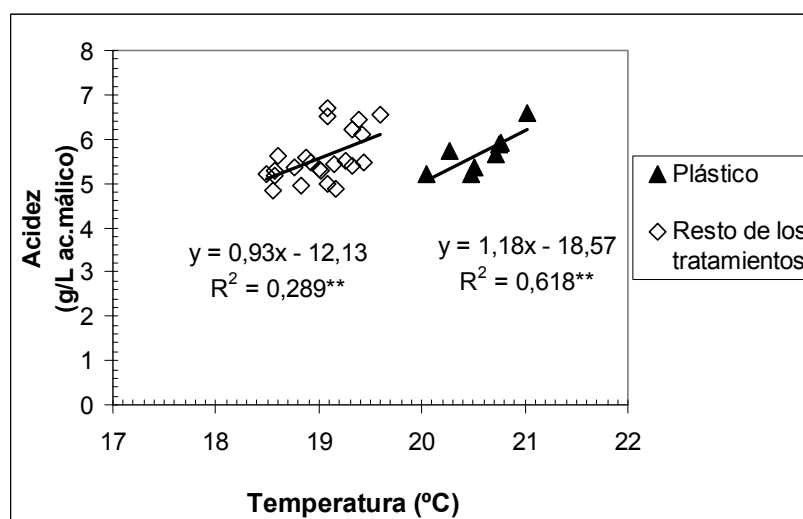


Figura IV.148. Relación entre la acidez del zumo de la nectarina y el valor medio de la temperatura diaria del suelo a 20 cm de profundidad en los meses de marzo a junio del año actual y meses de julio a octubre del año anterior en los distintos tratamientos de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012. Cada punto corresponde a una repetición.

IV.3.5.4. Efecto de la salinidad edáfica en la producción, productividad, precocidad y calidad de fruto

Un análisis preliminar de los datos obtenidos en este trabajo indicó que la C_{Ess} (salinidad de la solución del suelo extraída con sondas de succión) estaba peor relacionada que la C_{Ee} (salinidad del extracto saturado del suelo) con los parámetros medidos en nectarina, probablemente debido a la existencia de valores perdidos de C_{Ess} en ciertas posiciones, acolchados y años. Por otro lado, el análisis de densidad de longitud de raíces (capítulo IV.3.4.3) indicó que la mayor densidad se encontraba en las posiciones G (gotero) y LG (línea de gotero). Por estas razones, en este capítulo se utilizará como expresión de salinidad edáfica la media de la C_{Ee} medida en G y LG en los dos muestreos efectuados en cada año.

IV.3.5.4.1. Efecto de la salinidad edáfica en la producción y productividad

La Tabla IV.76 resume, para la media de los muestreos efectuados en abril y septiembre de cada año en las posiciones de muestreo gotero y línea de gotero (G+LG) los valores de CEe obtenidos en los años 2010 a 2012 en cada tratamiento de acolchado. Los valores de CEe variaron entre un mínimo de 1.9 dS m⁻¹ y un máximo de 3.6 dS m⁻¹. De acuerdo con las Tablas FAO de tolerancia de los cultivos a salinidad (tomando como referencia el melocotonero con una CEe umbral de 1.7 dS m⁻¹ y una pendiente del -21%, ya que la nectarina no consta en las Tablas) el valor máximo de 3.6 dS m⁻¹ implicaría un descenso de rendimiento en nectarina del 38% en suelos sin yeso y del 0% en suelos con yeso.

Sin embargo, los valores de producción media medidos en el ensayo fueron similares a los de otras plantaciones de nectarina en la zona de estudio, por lo que en promedio no parece que la misma esté afectada por la salinidad edáfica. Asimismo, la presencia de yeso en algunos de los suelos muestreados complica considerablemente el análisis, en primer lugar porque el análisis de yeso es solo cualitativo y en segundo lugar porque FAO propone restar 2 dS m⁻¹ a la CEe del extracto saturado de suelos con yeso (o sumar 2 dS m⁻¹ al umbral de CEe), circunstancia difícil de aplicar en casos como éste en el que la presencia de yeso solo se produjo en la mitad de los suelos muestreados.

Tabla IV.76. Valores medios de CEe medidos al inicio y final de la estación de riego en las posiciones de muestreo G+LG (gotero y línea de gotero) de cada tratamiento de acolchado del suelo en los años 2010 a 2012.

CEe (0-45 cm de profundidad) media de las muestras tomadas en abril y septiembre en las posiciones G (gotero) y LG (línea de gotero) (dS m ⁻¹) de los años 2010 a 2012			
Tratamiento	2010	2011	2012
Desnudo	2.3	1.9	2.7
Geotextil	2.6	2.3	3.6
Corteza pino	2.9	1.9	3.1
Plástico	2.5	2.0	2.4

La Tabla IV.77 presenta para cada árbol control (1 a 16) el tratamiento de acolchado al que estuvo sujeto, los valores de CEe en cada año experimental y la ausencia (No) o presencia (Si) de yeso cualitativo en el suelo.

A partir de los valores de CEe de esta Tabla y de los respectivos valores de producción y productividad (producción dividida por la sección del tronco) en términos absolutos y relativos medidos en cada árbol control y año experimental, se obtiene la Figura IV.149.

Tabla IV.77. Valores medios de CEe medidos al inicio y final de la estación de riego en las posiciones de muestreo G+LG (gotero y línea de gotero) y yeso cualitativo en las muestras de suelo tomadas en cada árbol control (1 a 16) en los años 2010 a 2012. Se presenta asimismo el tratamiento de acolchado de cada árbol control.

N ^a Árbol	Tratamiento Acolchado	CEe media (G + LG)			Yeso Cual
		2010	2011	2012	
1	G	3.2	2.1	3.9	No
2	D	2.0	1.8	2.5	Si
3	C	2.2	1.9	2.4	Si
4	P	2.2	2.2	3.2	Si
5	C	2.6	2.4	2.8	Si
6	P	2.8	2.1	2.3	Si
7	G	2.2	3.2	4.6	No
8	D	2.0	2.5	2.7	No
9	C	4.4	2.0	3.9	Si
10	G	3.0	1.8	2.2	Si
11	D	2.6	1.6	2.8	No
12	P	2.3	1.9	2.0	No
13	C	2.3	1.5	2.3	No
14	D	2.5	1.5	2.6	No
15	G	1.9	2.2	3.8	No
16	P	2.8	2.0	2.2	Si

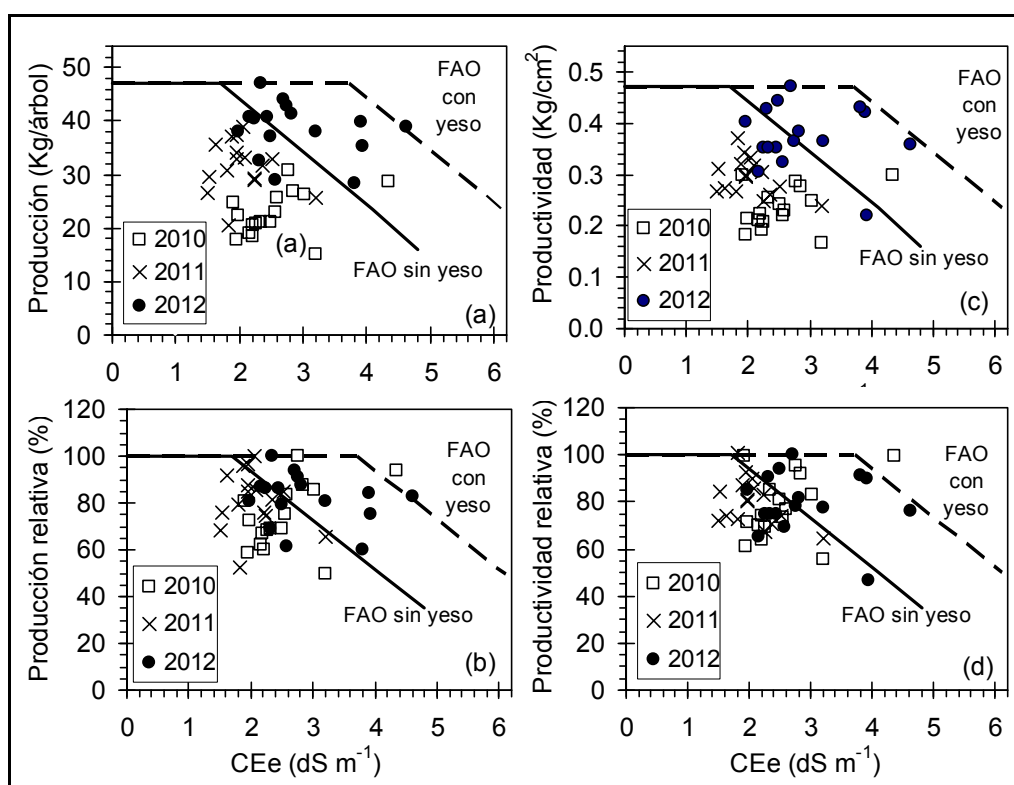


Figura IV.149. Relaciones de la (a) producción, (b) producción relativa, (c) productividad y (d) productividad relativa de la nectarina con la CEe medidos en los 16 árboles control durante los años 2010 a 2012. Las líneas sólida y discontinua indican la función de respuesta del melocotonero a la salinidad establecida por FAO en suelos sin y con yeso respectivamente.

Tal como se discutió anteriormente, no se detectaron diferencias significativas en la producción y productividad entre los tratamientos de acolchado. Por esta razón, en esta y en las siguientes figuras las observaciones se han diferenciado por años en lugar de por tratamientos de acolchado. Así, por razones no determinadas, el efecto año fue relevante en 2012 donde se obtuvieron valores similares de producción y productividad para unos valores superiores de CEe (Figura IV.149). Es decir, en este año la nectarina sería aparentemente más tolerante a la salinidad que en los dos años anteriores.

En la Figura IV.149 se han representado asimismo las funciones de respuesta del melocotonero a la salinidad en suelos sin y con yeso establecida por FAO, tomando respectivamente como CEe umbral (CEeu) los valores de 1.7 y 3.7 dS/m para la máxima producción de 47 Kg/árbol y la máxima productividad de 0.47 Kg/cm² observadas en el periodo experimental del ensayo de nectarina de 2010 a 2012 y tomando, según las tablas FAO, el valor de 4.1 dS/m como la CEe a la que la productividad y la producción descenden un 50%. Los valores relativos se han calculado en base a los máximos valores absolutos obtenidos en cada año.

Tanto la producción como la productividad absolutas y relativas estuvieron poco relacionadas con la salinidad edáfica. A pesar de ello, estas variables parece que tienden a disminuir por encima de un cierto nivel de CEe. La variable que mostró una mejor relación con la salinidad fue la productividad, cuyas observaciones se acercan más a la función de respuesta de FAO en suelos sin yeso. En esta figura se observa asimismo que no hay observaciones (o solo una) a la derecha de la línea FAO con yeso, y que la mayor parte de las observaciones (excepto las del año 2012) están a la izquierda de la línea FAO sin yeso.

El efecto año señalado anteriormente se aprecia claramente en esta figura. Así, si se elimina el año 2012 de la Figura IV.149 se genera la Figura IV.150, en la que se observa que la envolvente superior de las observaciones de producción y productividad siguen de forma consistente la pendiente o descenso de estas variables por incremento unidad de CEe.

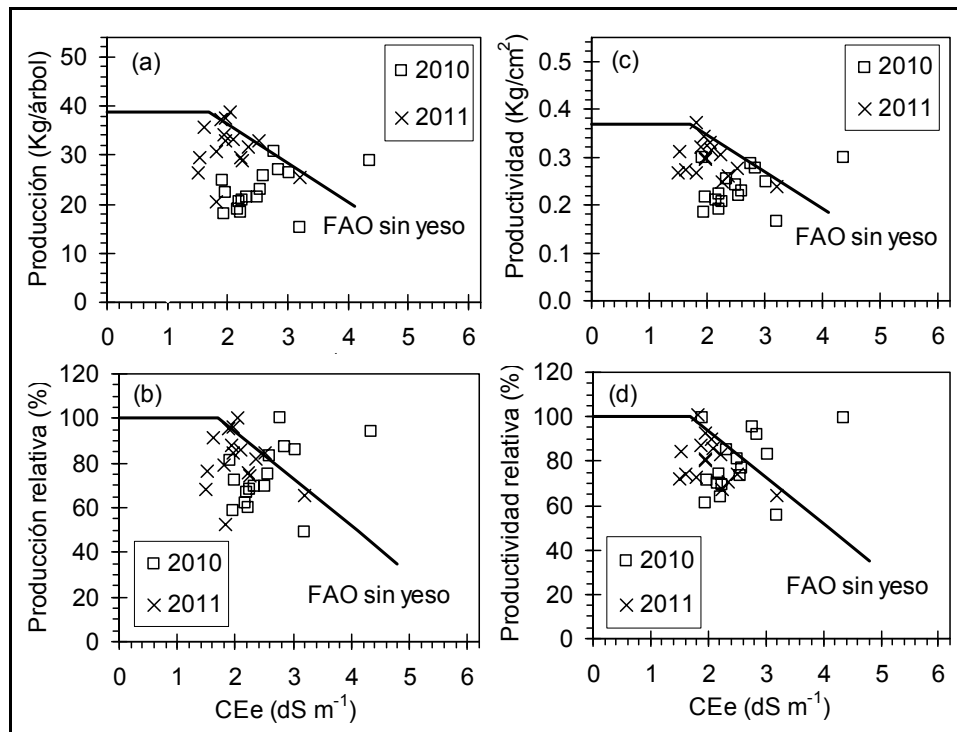


Figura IV. 150. Relación de la (a) producción, (b) producción relativa, (c) productividad y (d) productividad relativa de la nectarina con la CEe medida en los 16 árboles control durante los años 2010 y 2011. La línea sólida indica la función de respuesta del melocotonero a la salinidad establecida por FAO en suelos sin yeso.

El análisis de la respuesta de los cultivos a estreses abióticos en condiciones reales de campo es complicado, dado que bajo dichas condiciones los cultivos se ven afectados no solo por el estrés en estudio, sino por otros estreses indeterminados. Por esta razón, la dispersión de las observaciones es mucho más elevada que la que se obtiene en ensayos controlados, y el ajuste de las mismas al modelo clásico de Maas y Hoffman (1977) (modelo utilizado en las Tablas FAO) es difícil o inviable en algunos casos.

Tratando de soslayar esta dificultad, se ha aplicado el “boundary-line analysis” (análisis en base a la línea frontera o línea envolvente superior de las observaciones) propuesto en primer lugar por Webb (1972). Este análisis facilita el aislamiento del estrés en estudio del resto de estreses que afectan asimismo a la variable en estudio (Shatar y McBratney, 2004). En nuestro caso, la línea frontera superior representa la máxima producción o productividad que se puede obtener para un valor determinado de salinidad del suelo, mientras que las observaciones situadas por debajo de la línea frontera son aquellas donde la producción y la productividad se reducen por otros estreses indeterminados además de la salinidad (Milne et al., 2006). Este enfoque se ha validado y se ha utilizado anteriormente en otros trabajos realizados en la Unidad de Suelos y Riegos del CITA (Aragüés et al., 2004, 2005; Urdanoz y Aragüés, 2009).

Los resultados sin considerar el año 2012 (Figura IV.150) indican que la envolvente superior de las observaciones de producción y productividad coincide de forma bastante consistente con la función de respuesta FAO en suelos sin yeso, lo que sugiere que, aunque a nivel global no parece que la nectarina se vea afectada por la salinidad, a nivel individual ciertos árboles se vieron afectados por este estrés siguiendo un descenso de producción relativamente similar al establecido por FAO. Por el contrario, si se incluye el año anómalo de 2012 (Figura IV.150) las observaciones no se ajustan a una envolvente superior.

En síntesis, los valores medios de producción y productividad medidos globalmente en la parcela experimental e individualmente en cada tratamiento de acolchado indican que el rendimiento de la nectarina no se vio afectado por la salinidad. Sin embargo, el análisis individual de la productividad de los árboles control frente a la CEe indica que su envolvente superior se acerca a la función de respuesta FAO del melocotonero en suelos sin yeso. La concordancia aceptable entre la tolerancia estimada en esta tesis y la establecida por FAO sugiere que la productividad de la nectarina se vio negativamente afectada por la salinidad edáfica para valores superiores a una CEe de en torno a 1.7 dS m^{-1} . Sin embargo, estos resultados deben validarse en años posteriores dado que la respuesta de los cultivos leñosos no puede establecerse en base a un número tan escaso de años experimentales.

IV.3.5.4.2. Efecto de la salinidad del suelo sobre la precocidad del fruto

La precocidad aumentó significativamente ($P < 0.05$) con la salinidad cuando la misma se expresa en términos absolutos, pero no cuando se expresa en términos relativos debido al efecto año indicado anteriormente (Figura IV.155). Por lo tanto, cabe concluir que la precocidad fue independiente de la salinidad edáfica.

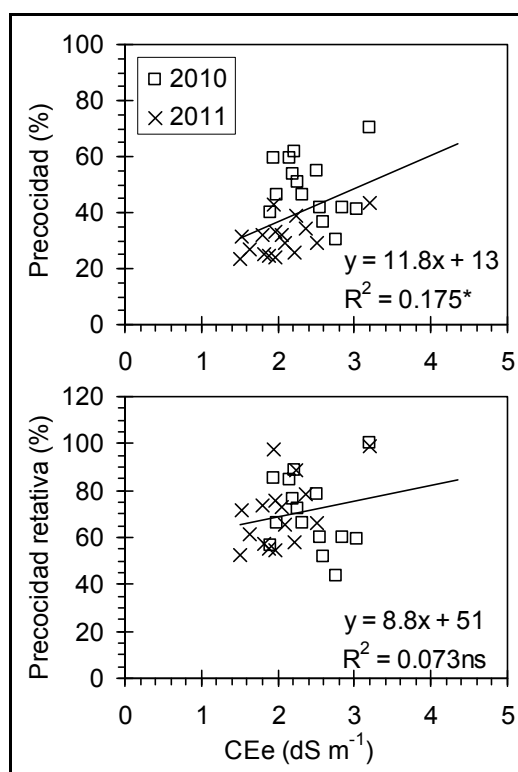


Figura IV.151. Relación entre la precocidad absoluta y relativa del fruto de los 16 árboles control de nectarina y la CEe media (G y LG, 0 a 45 cm de suelo) de los muestreos efectuados en marzo y septiembre de los años 2010 y 2011 (sin datos en 2012).

IV.3.5.4.3. Efecto de la salinidad del suelo sobre la calidad del fruto

El contenido en azúcares, la acidez, la firmeza y el peso del fruto se relacionaron con la salinidad edáfica sin observar ninguna relación consistente (Figuras IV.151 a IV.154). Solo se observaron unas regresiones significativas ($P < 0.05$) con un coeficiente de determinación bajo entre la acidez y el peso medio del fruto de la nectarina y la salinidad del suelo ($R^2 = 0.10$ y 0.16 respectivamente). Según esta correlación, el aumento de la salinidad del suelo aumenta la acidez de la nectarina (Figura IV.152) y disminuye el peso medio del fruto de la nectarina (Figura IV.154). En términos relativos, no se observó ninguna relación significativa. Estos resultados indican que el efecto año juega un papel importante en las correlaciones obtenidas que desaparecen al establecer estas variables en términos relativos.

Por otro lado, el volumen de frutos y el número de frutos por árbol no se vieron afectados por la salinidad edáfica, a pesar de que el volumen de frutos tendió a disminuir y el número de frutos tendió a aumentar con la salinidad (datos no presentados).

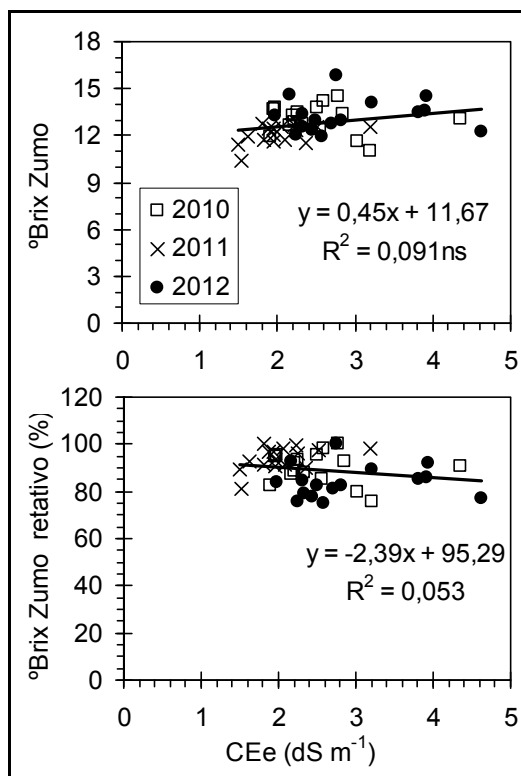


Figura IV.152. Relación entre el contenido absoluto y relativo de azúcar del zumo (°Brix) de los 16 árboles control de nectarina y la CEE media (G y LG, 0 a 45 cm de suelo) de los muestreos efectuados en marzo y septiembre de los años 2010 a 2012.

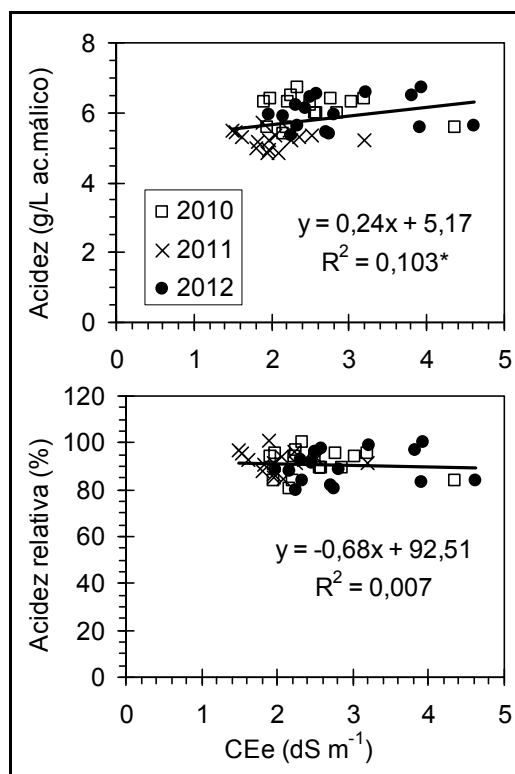


Figura IV.153. Relación entre la acidez absoluta y relativa de los 16 árboles control de nectarina y la CEE media (G y LG, 0 a 45 cm de suelo) de los muestreos efectuados en marzo y septiembre de los años 2010 a 2012.

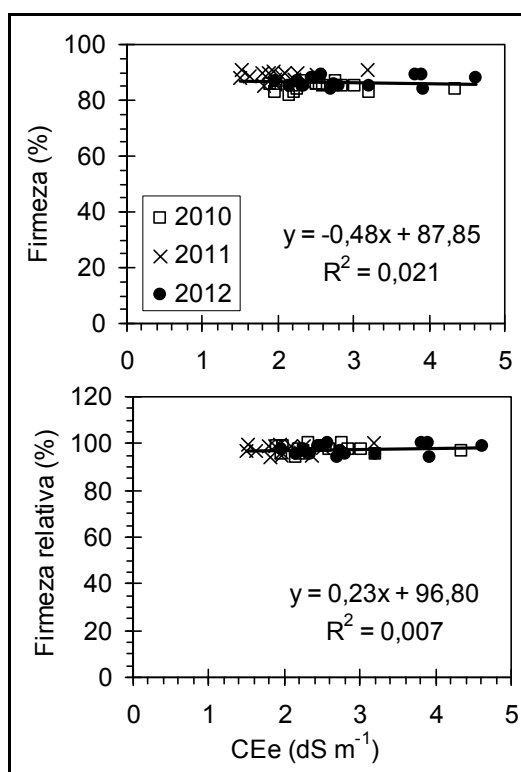


Figura IV.154. Relación entre la firmeza absoluta y relativa de los 16 árboles control de nectarina y la CEE media (G y LG, 0 a 45 cm de suelo) de los muestreos efectuados en marzo y septiembre de los años 2010 a 2012.

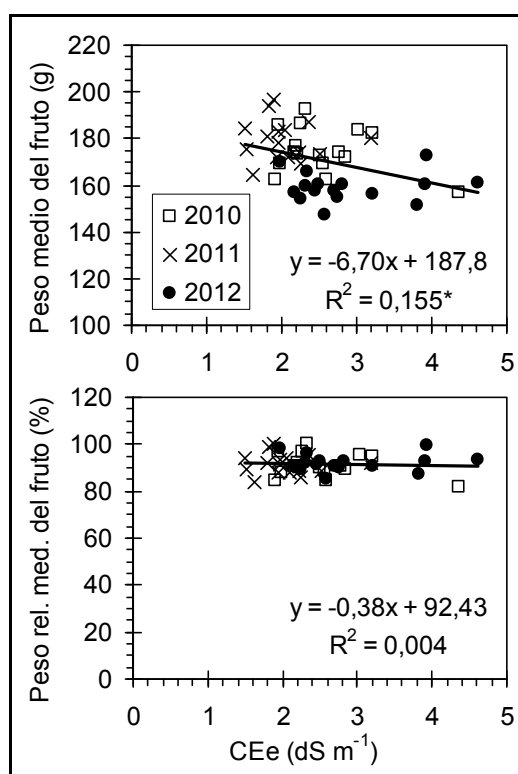


Figura IV.155. Relación entre el peso medio absoluto y relativo del fruto de los 16 árboles control de nectarina y la CEE media (G y LG, 0 a 45 cm de suelo) de los muestreos efectuados en marzo y septiembre de los años 2010 a 2012.

IV.4. Síntesis y conclusiones

Riego

- Durante las campañas de riego de los tres años del ensayo, **el volumen estacional de riego y precipitación** fue más elevado en 2011 (928 mm) que en el 2012 (892 mm) y 2010 (859 mm). **La CE media del agua de riego** durante las tres estaciones de riego fue $1.1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ con valores mínimos de en torno a $0.8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ al inicio de la estación de riego (marzo) y valores máximos de en torno a $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ al final de la estación de riego (septiembre) período de menores caudales del Ebro. Este incremento estacional de la salinidad del agua de riego podría explicar en parte los incrementos estacionales observados en la salinidad del suelo. En base a la aptitud de las aguas para riego establecida por FAO y por WATSUIT para riego de alta frecuencia, la salinidad media del agua de riego de $1.1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ es apta para el riego por goteo de la nectarina (pérdidas de rendimiento por estrés osmótico mínimas o irrelevantes).

Parámetros de suelo

- **La evaporación del suelo medida con microlisímetros** colocados en las áreas sombreadas por los árboles de nectarina y con el suelo próximo a capacidad de campo disminuyó lineal y significativamente ($P < 0.01$) con la humedad del suelo. En relación al tratamiento control (suelo desnudo), la evaporación fue respectivamente un 53% y un 67% menor (día 1) y un 24% y un 45% menor (día 8) en los suelos acolchados con corteza de pino y geotextil que no estaban en contacto directo con el suelo húmedo. En cuanto a la diferencia entre las varias **posiciones de los ML**, no se observaron diferencias entre las posiciones LG y LA mientras que se detectaron diferencias significativas en algunas mediadas entre la posiciones Calle y LA. La relación entre la HG y las tasas de **evaporación** mostró una regresión lineal significativa ($P < 0.01$), señalando la estrecha relación entre evaporación y humedad del suelo para un suelo y una demanda evaporativa determinadas.
- Los valores medios mensuales de la **temperatura del suelo** a 20 cm de profundidad fueron, excepto en los meses de invierno, significativamente mayores ($P < 0.05$) en el tratamiento plástico que en el resto de los tratamientos en los que la temperatura del suelo no fue significativamente diferente entre ellos ($P > 0.05$). En los meses de invierno el acolchado de corteza de pino presentó las mayores temperaturas de suelo con diferencias significativas ($P < 0.05$) con los acolchados de geotextil y suelo desnudo. Las diferencias entre los valores diarios de la temperatura del suelo de los distintos acolchados y el control de suelo desnudo a lo largo del año mostraron comportamientos muy diferentes. Así las diferencias entre el plástico y el control fueron positivas en todo el periodo experimental. Las diferencias entre la corteza de pino y el suelo desnudo fueron positivas en el invierno y negativas en el resto del año. El geotextil tuvo un comportamiento similar a la corteza pero con mayores diferencias en los meses invernales. La amplitud de los valores semihorarios de la temperatura del suelo fue mucho menor en los cuatro tratamientos de acolchado que en el aire, mostrando el efecto amortiguador de los mismos y, en particular, de los acolchados de geotextil y corteza de pino.
- **La humedad gravimétrica** (0-45 cm de profundidad) medida al principio (marzo) y final (septiembre) de cada estación de riego de 2010 a 2012 en tres posiciones de muestreo (junto al gotero-G, sobre la línea de goteros a 50 cm de los mismos-LG, y en la línea de árboles a 50 cm de los goteros-LA) fue mayor en G, intermedia en LG y mucho menor en LA. La menor humedad en LA que en LG, a pesar de estar a la misma distancia de los goteros, se debe a la presencia de un pequeño surco bajo la línea de goteros que recogía el agua de escorrentía superficial. Por lo tanto la cantidad de agua de percolación y, en consecuencia, la fracción de lavado (FL), fue mayor en LG y menor en

LA que la que cabría esperar en goteros con caudales inferiores a la tasa de infiltración del agua en el suelo. Esta conclusión es importante porque explica el gradiente de salinidad observado en dichas posiciones de muestreo.

- Las diferencias en la **humedad gravimétrica** media del suelo entre los tratamientos de acolchado fueron pequeñas, aunque sistemáticamente mayores en los acolchados con plástico y corteza de pino que en los tratamientos de suelo desnudo y acolchado con geotextil.
- La **humedad volumétrica** medida con las sondas Diviner y Envirosca mostró una evolución estacional similar, aunque los valores absolutos difirieron entre ellas. El comportamiento y los resultados de algunas sondas fueron insatisfactorios debido a problemas de contacto entre el suelo y los tubos de acceso.
- Los valores medios de **humedad volumétrica** a lo largo del ciclo del cultivo fueron menores en la línea de árboles que en el gotero y la línea de goteros. Las mayores diferencias de humedad entre los tratamientos de acolchado se observaron en la línea de árboles, posición en la que los tratamientos de acolchado tuvieron unas humedades significativamente mayores ($P < 0.05$) que la del suelo desnudo.
- En los **cortes de riego** efectuados en los años 2010 y 2011, provocados para analizar la evolución de la humedad afectada exclusivamente por la ETc, los mayores descensos de humedad se produjeron junto al gotero, sugiriendo que las mayores extracciones de agua del suelo se produjeron en esta zona donde, por lo tanto, se localizarían preferentemente las raíces de nectarina. En el suelo desnudo se observó una mayor oscilación de la humedad del suelo que bajo las cubiertas de acolchado debido a la mayor evaporación. El acolchado del suelo produjo un efecto regulador de la humedad del suelo disminuyendo su evaporación sobre todo en las zonas de altas temperaturas estivales como la de este estudio.
- **La salinidad media del suelo (CEe)** en el período de estudio (años 2010-2012) fue relativamente elevada (3.4 dS m^{-1}), en parte debido a la presencia de yeso en el suelo. La CEe fue máxima en la línea de árboles (LA, 5.0 dS m^{-1}), intermedia en la línea de goteros (LG, 3.2 dS m^{-1}) y mínima junto al gotero (G, 2.0 dS m^{-1}). Dado que en riego por goteo la FL disminuye con la distancia al gotero, este resultado está de acuerdo con las inversas de las FL (esto es, con el factor de concentración del agua de riego en el suelo), mínimas en el gotero, intermedias en la línea de goteros y máximas en la línea de árboles. La salinización del suelo en las tres estaciones de riego estudiadas fue mínima con la corteza de pino (acolchado más eficaz debido a que reduce apreciablemente la evaporación y permite el paso de la precipitación), intermedia con el plástico (acolchado que elimina prácticamente la evaporación pero impide el paso de la lluvia) y máxima con el geotextil (acolchado que en contacto con el suelo húmedo y en presencia de lluvia favorece la evaporación del agua absorbida por sus macroporos).
- El orden decreciente de la **FL** calculada para los tratamientos de acolchado en las dos estaciones de riego fue: Corteza > Plástico > Geotextil > Desnudo. En las dos estaciones de no riego, este orden fue: Corteza > Geotextil > Desnudo > Plástico. En la estación de no riego, la menor FL en el plástico se atribuye a que este material impermeable a la lluvia que impidió el lavado de sales. El DH acumulado entre el primer y último muestreo siguió el orden (DH entre paréntesis): Cort (-168 mm) < Geo (187 mm) = Pla (189 mm) < Des (276 mm). Es decir, la corteza de pino es el acolchado con el menor DH.
- A lo largo de la extracción de la solución de suelo mediante sondas de succión existieron valores perdidos de **salinidad media de la solución del suelo (CEss)** por la incapacidad de algunas sondas de extraer la solución del suelo. La aplicación de vaselina o un lubricante similar a dichos tapones es una práctica recomendable para el funcionamiento eficiente de las sondas de succión. La (CEss) en el período de estudio (años 2010-2012) fue relativamente elevada (5.7 dS m^{-1}), en parte debido a la presencia de yeso en el suelo. La CEss fue máxima en la línea de árboles (LA, 9.5 dS m^{-1}),

intermedia en la línea de goteros (LG, 4.3 dS m^{-1}) y mínima junto al gotero (G, 3.2 dS m^{-1}). En promedio, la CE_{ss} fue 1.7 veces superior a la CE_e, valor próximo al teórico de 2.0 si se asume que el suelo está a capacidad de campo, que la humedad a saturación es el doble de la humedad a capacidad de campo, y que no existe disolución de yeso en la preparación y extracción de la pasta saturada del suelo. La existencia de valores perdidos de CE_{ss}, particularmente en la posición LA, no permite profundizar con rigor en este tipo de relaciones. En base a la media de la CE_{ss} medida en las posiciones de gotero (G) y línea de gotero (LG) de los años 2010-2012, el plástico fue el acolchado más eficiente para el control de la salinidad (CE_{ss} = 2.9 dS m^{-1}), seguido de la corteza de pino (3.7 dS m^{-1}), y del suelo desnudo y geotextil (en torno a 4.0 dS m^{-1}). En base a la CE_{ss} media quincenal, las CE_{ss} finales máximas alcanzaron según años y tratamientos valores de entre 6.0 y 7.7 dS/m, indicando que la salinización del suelo fue preocupante en algunos casos ya que estos valores superan claramente los umbrales de tolerancia de la nectarina que serían del orden de 3.5 dS/m en base a la salinidad de la solución del suelo (equivalente a 1.7 dS/m en base a la CE_e). Según este estudio, únicamente el acolchado plástico (CE_{ss} = 3.1 dS/m) tendría valores inferiores a dicho umbral, por lo que la nectarina podría verse negativamente afectada por estrés salino en el resto de tratamientos.

- En base a los años individuales 2010 y 2011 los resultados fueron conceptualmente consistentes, siendo el suelo desnudo y el geotextil (tratamientos con mayor evaporación) los de mayor salinidad, y el plástico y la corteza de pino (tratamientos con menor evaporación) los de menor salinidad. Sin embargo, en el año 2012 la salinidad del suelo desnudo fue la menor de todos los tratamientos, resultado aparentemente incongruente que se atribuyó al mayor lavado de sales en este tratamiento producido por la lluvia de 60 mm recogida entre junio y septiembre de dicho año.

Parámetros de la nectarina

- El valor medio de **la ET_c** anual de la nectarina en suelo desnudo durante los tres años de estudio fue de 1036 mm. Este alto valor indica las elevadas necesidades hídricas de la nectarina en esta zona semiárida del bajo Ebro Aragonés que exige aplicaciones de riego necesarias para cubrir estas necesidades y el lavado de las sales del suelo. La ET_c de la nectarina de marzo a septiembre con los acolchados de geotextil, corteza de pino y plástico fue en promedio un 97, 85 y 73% de la ET_c de la nectarina en suelo desnudo, respectivamente. Estas diferencias fueron debidas principalmente a la reducción de la evaporación del suelo en los acolchados y, en el caso del plástico, a su impermeabilidad que impide la evaporación. Los valores estacionales del riego más lluvia fueron superiores a los valores de la ET_c en los tratamientos con acolchado de plástico y de corteza de pino en los tres años del ensayo.
- Las reducciones de la ET_c, los altos valores de la humedad del suelo y los resultados productivos de la nectarina en estos dos tratamientos de acolchado sugieren que se pueden reducir las cantidades de riego respecto al aplicado en suelo desnudo. En el caso del acolchado de corteza esta reducción podría ser del 15% y en el caso del acolchado plástico, con una reducción hipotética del 27%, depende de las precipitaciones en la estación de riegos ya que la impermeabilidad de la lámina de plástico impide la entrada de agua de lluvia a la zona radical del cultivo.
- Los muestreos de suelo efectuados en una retícula muy densa (25 x 25 cm) en 2010 y 2011 mostraron que **la DLR** tuvo una distribución radial concéntrica a los goteros, decreciente con la distancia a los mismos, y con una disminución logarítmica con la profundidad de suelo, de tal manera que la DLR fue en torno a 7-10 veces superior en superficie (0-20 cm) que en profundidad (40-60 cm).

- Si se acepta que la tasa de extracción de agua por las raíces está directamente relacionada con la DLR, el modelo de extracción media (en % de la extracción total) sería del 64% a la profundidad del suelo de 0-20 cm, 26% a la profundidad de 20-40 cm y 10% a la profundidad de 40-60 cm. Estos resultados indican que con el riego por goteo de alta frecuencia practicado en esta finca experimental, la humedad y salinidad del suelo a 0-40 cm de profundidad es determinante en la respuesta de la nectarina a estas variables.
- Los resultados obtenidos para el perfil (0-60 cm de profundidad) del suelo desnudo y bajo plástico fueron consistentes con los apartados anteriores, indicando que (1) la humedad gravimétrica media fue un 15% mayor en el suelo bajo plástico, (2) la salinidad media fue un 72% mayor en el suelo desnudo, y (3) la densidad de longitud de raíces media fue similar en ambos tratamientos.
- Bajo la línea de goteros se establecen en el suelo más superficial unas distribuciones radiales centradas en el punto de infiltración del agua que implican aumentos de salinidad y descensos de humedad y densidad de raíces con la distancia a los puntos de emisión, de tal manera que la DLR depende de ambas variables (excepto para la CEe del suelo bajo plástico).
- No hubo diferencias significativas en **el diámetro de tronco** entre los tratamientos de acolchado en los tres años de estudio ni para todo el periodo experimental del ensayo, pero cuantitativamente el acolchado plástico mostró una tendencia a presentar los mayores incrementos de diámetro del tronco a partir del segundo año del ensayo, seguido por la corteza de pino y el geotextil.
- Los valores de precocidad resultaron muy subjetivos, ya que dependen en gran parte del estado de maduración de la fruta en la fecha de la primera cosecha. Por esta razón se observan valores muy diferentes de precocidad en los tres años de estudio. Para cada año, no se observaron diferencias significativas en la precocidad del fruto entre tratamientos de acolchado. En 2011, el tratamiento de corteza tuvo el mayor porcentaje de precocidad y en 2012 este tratamiento, junto con el tratamiento de plástico, presentaron los mayores valores de precocidad, pero sin diferencias significativas.
- Aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas entre tratamientos para los distintos años de estudio, debe resaltarse que la **producción comercial** de fruta fue un 10 % superior en el acolchado plástico que en el suelo desnudo en 2010, un 12 % superior en 2011 y un 7% superior en 2012. **La producción acumulada** de fruta durante los tres años del ensayo de nectarina, fue estadísticamente similar con 100.8 Kg árbol⁻¹ en el plástico, 92,4 Kg árbol⁻¹ en la corteza de pino 92.1 en el geotextil y 91.4 Kg árbol⁻¹ en el suelo desnudo.
- Asimismo tampoco se observaron diferencias significativas en **la productividad** de la nectarina (kg de fruta por cm² de sección del tronco) ni en **los parámetros de calidad analizados**, pero de nuevo el acolchado plástico tendió a mejorar dichos parámetros.
- El acolchado de suelo no tuvo un efecto significativo en la **eficiencia del uso del agua de riego**. Sin embargo, el tratamiento de acolchado plástico tuvo una tendencia a tener los mayores valores de la EUAR en los tres años del ensayo.

Relaciones suelo-agua-planta

- En general los parámetros productivos y de calidad del fruto de nectarina estuvieron positivamente relacionados con la humedad del suelo.
- En el acolchado plástico se encontró una relación positiva entre los parámetros productivos de la nectarina y el valor medio de la temperatura diaria del suelo. Asimismo, la calidad del fruto mejoró en términos generales al aumentar la temperatura del suelo.

- El análisis de las distintas variables de suelo y de nectarina, tanto productivas como de calidad del fruto, sugiere que el acolchado plástico y el de corteza de pino son en general los más recomendables desde un punto de vista ambiental y comercial.
- Los valores medios de producción y productividad medidos globalmente en la parcela experimental e individualmente en cada tratamiento de acolchado indican que no se vieron sensiblemente afectados por la salinidad del suelo. Sin embargo, el análisis individual de la productividad de los árboles control frente a la salinidad del suelo para los años 2010 y 2011 sugiere que la envolvente superior de las observaciones se aproximó a la función de respuesta FAO del melocotonero en suelos sin yeso, de tal manera que la nectarina se vería negativamente afectada por la salinidad para valores superiores a una CEe umbral de en torno a 1.7 dS m^{-1} , similar a la establecida por FAO para el melocotonero (FAO no proporciona este valor para la nectarina).

Estas relaciones suelo-agua-planta establecidas en la nectarina de forma tentativa deben validarse con más observaciones, dado que la respuesta de los cultivos leñosos no puede establecerse en base a un número tan escaso de años experimentales.

SÍNTESIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES GENERALES

CAPÍTULO V. SÍNTESIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES GENERALES

En esta tesis se ha realizado un estudio pormenorizado acerca de los efectos de distintos acolchados del suelo sobre determinadas variables del suelo y de un cultivo de nectarina temprana regada por goteo con aguas de salinidad moderada-alta en el Bajo Ebro Aragón.

En cada capítulo de la tesis se han detallado las conclusiones relativas a los estudios efectuados. En este capítulo final se resumen los resultados y conclusiones generales más relevantes obtenidas en los siguientes apartados:

1. Evaporación del suelo

- En condiciones de laboratorio donde los materiales de acolchado se colocaron directamente sobre un suelo saturado en agua, las tasas de evaporación fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$) entre ellos. El porcentaje de reducción de la evaporación en relación al tratamiento control (suelo desnudo) fue muy alto con el plástico (80%), moderado con la corteza de pino (47%), bajo con la paja de trigo (27%) y muy bajo con el residuo de poda de viña (13%) y, en particular, con el geotextil de yute (7%). La baja eficiencia de algunos acolchados en la reducción de la evaporación se atribuyó a la absorción del agua del suelo por los mismos y a su posterior evaporación desde sus superficies de elevada macroporosidad.
- En condiciones de campo con un suelo no cultivado y regado por goteo, el suelo desnudo tuvo una evaporación significativamente mayor ($P < 0.05$) que la de los suelos acolchados, cuyas evaporaciones no fueron significativamente diferentes entre sí ($P > 0.05$) debido en gran medida a las elevadas desviaciones estándar de sus medias. A pesar de ello, el plástico provocó generalmente la menor evaporación del suelo, seguido del residuo de poda y el geotextil, y el suelo desnudo tuvo la mayor evaporación. Este resultado confirma la ineficiencia del geotextil de yute altamente poroso para prevenir la evaporación cuando se coloca en contacto directo con el suelo húmedo.
- La eficiencia del acolchado para reducir la evaporación disminuye significativamente ($P < 0.05$) conforme menor es la humedad del suelo, ya que la demanda evaporativa de la atmósfera deja de ser crítica en condiciones de baja humedad del suelo. Tomando como referencia la evaporación del suelo desnudo, los acolchados redujeron en promedio la evaporación del suelo en un 67% para una humedad alta, un 56% para una humedad intermedia y un 35% para una humedad baja. Cabe por lo tanto concluir que el acolchado reduce de forma muy importante la evaporación del suelo en sistemas de riego de alta frecuencia donde el suelo superficial permanece húmedo la mayor parte del tiempo, pero su eficacia disminuye notablemente en sistemas de riego de baja frecuencia donde el suelo permanece seco la mayor parte del tiempo.
- La evaporación del suelo medida con microlisímetros colocados en las áreas sombreadas por los árboles de nectarina y con el suelo próximo a capacidad de campo disminuyó lineal y significativamente ($P < 0.01$) con la humedad del suelo. En relación al tratamiento control (suelo desnudo), la evaporación fue respectivamente un 53% y un 67% menor (día 1) y un 24% y un 45% menor (día 8) en los suelos acolchados con corteza de pino y geotextil que no estaban en contacto directo con el suelo húmedo.
- En síntesis, en contacto con el suelo húmedo el plástico y, en segundo lugar, la corteza de pino son los acolchados más efectivos para la reducción de la evaporación. Sin embargo, la corteza permite mientras que el plástico impide el paso de la lluvia, por lo que la eficiencia relativa final de ambos acolchados para el control de la humedad y salinidad del suelo depende de la climatología del área y, en particular, del volumen y

distribución de la precipitación. El geotextil, que también permite el paso del agua de lluvia a través de sus macroporos, no previene la evaporación si está en contacto con el suelo húmedo, pero puede ser un acolchado eficaz si se le aísla del contacto directo con el suelo húmedo.

2. Temperatura del suelo

- La utilización de los distintos tipos de acolchado del suelo ha resultado una útil y sencilla práctica agronómica que permite alterar el régimen térmico del suelo a lo largo de todo el año.
- Los valores medios mensuales de la temperatura del suelo a 20 cm de profundidad fueron, excepto en los meses de invierno, significativamente mayores ($P < 0.05$) en el tratamiento plástico que en el resto de los tratamientos en los que la temperatura del suelo no fue significativamente diferente entre ellos ($P > 0.05$). En los meses de invierno el acolchado de corteza de pino presentó las mayores temperaturas de suelo con diferencias significativas ($P < 0.05$) con los acolchados de geotextil y suelo desnudo.
- Las diferencias entre los valores diarios de la temperatura del suelo de los distintos acolchados y el control de suelo desnudo a lo largo del año mostraron comportamientos muy diferentes. Así las diferencias entre el plástico y el control (suelo desnudo) fueron positivas en todo el periodo experimental. Las diferencias entre la corteza de pino y el suelo desnudo fueron positivas en invierno y negativas el resto del año. El geotextil tuvo un comportamiento similar a la corteza pero con mayores diferencias en los meses invernales.

3. Humedad del suelo

- Las diferencias en la humedad gravimétrica media del suelo entre los tratamientos de acolchado fueron pequeñas, aunque sistemáticamente mayores en los acolchados con plástico y corteza de pino que en los tratamientos de suelo desnudo y acolchado con geotextil. Cabe por lo tanto concluir que, asumiendo que el resto de variables fue similar entre tratamientos, los acolchados de plástico y corteza de pino redujeron más la evaporación y conservaron mejor la humedad del suelo que el suelo desnudo y el acolchado geotextil.
- Los valores medios de humedad volumétrica a lo largo del ciclo del cultivo fueron menores en la línea de árboles que en el gotero y la línea de goteros. Las mayores diferencias de humedad entre los tratamientos de acolchado se observaron en la línea de árboles, posición en la que los tratamientos de acolchado tuvieron unas humedades significativamente mayores ($P < 0.05$) que la del suelo desnudo.
- En los cortes de riego efectuados en los años 2010 y 2011, provocados para analizar la evolución de la humedad afectada exclusivamente por la ETc, los mayores descensos de humedad se produjeron junto al gotero, sugiriendo que las mayores extracciones de agua del suelo se producen en esta zona donde, por lo tanto, se localizarían preferentemente las raíces de nectarina.
- En el suelo desnudo se observó una mayor oscilación de la humedad del suelo que bajo las cubiertas de acolchado debido a la mayor evaporación. El acolchado del suelo produjo un efecto regulador de la humedad del suelo disminuyendo su evaporación sobre todo en las zonas de altas temperaturas estivales como la de este estudio.

4. Salinidad del suelo (CEe)

- La salinidad media del suelo (CEe) en el período de estudio (años 2010-2012) fue relativamente elevada (3.4 dS m^{-1}), en parte debido a la presencia de yeso en el suelo.

La CEE media fue máxima en la línea de árboles (LA, 5.0 dS m⁻¹), intermedia en la línea de goteros (LG, 3.2 dS m⁻¹) y mínima junto al gotero (G, 2.0 dS m⁻¹). El diseño de los ramales de riego (localización y número de goteros) debe tener en cuenta esta distribución diferencial de sales para favorecer que las raíces de los cultivos se localicen en las zonas de menor salinidad del suelo.

- La salinización del suelo en las tres estaciones de riego estudiadas fue mínima con la corteza de pino (acolchado más eficaz debido a que reduce apreciablemente la evaporación y permite el paso de la precipitación), intermedia con el plástico (acolchado que elimina prácticamente la evaporación pero impide el paso de la lluvia) y máxima con el geotextil (acolchado que en contacto con el suelo húmedo y en presencia de lluvia favorece la evaporación del agua absorbida por sus macroporos). La salinización del suelo desnudo varió entre años, siendo la mayor de los cuatro tratamientos en el año 2011 (de menor precipitación), y la menor después de la corteza de pino en los años 2010 y 2012 (de mayor precipitación).
- La salinidad (CEE) y humedad gravimétrica (HG) del conjunto de muestras recogidas en el ensayo de nectarina en los años 2010 a 2012 están negativa y significativamente correlacionadas ($P < 0.001$), lo que indica que los incrementos de salinidad del suelo fueron debidos a la evapo-concentración de la solución del suelo y consiguiente descenso de la humedad del suelo. Las regresiones lineales CEE-HG fueron similares en los tres años analizados, en los cuatro tratamientos de acolchado y en las tres posiciones de muestreo, significando que en todos los casos el efecto evapo-concentración fue la causa de los aumentos de salinidad y descensos de humedad.
- Independientemente de los tratamientos de acolchado, la salinización del suelo aumentó con el déficit hídrico ($DH = ET_c - R - P$) y disminuyó con la fracción de lavado [$FL = (R + P - ET_c) / (R + P)$]. Estos resultados son conceptualmente coherentes ya que los incrementos de DH y los descensos de FL se deben a incrementos de ET_c (que aumentan la evapoconcentración de las sales en la zona de raíces) y a descensos de R y/o P (que reducen el agua disponible para el lavado de las sales acumuladas en el suelo).
- Estas relaciones de salinización del suelo con DH (relación positiva) y FL (relación negativa) alertan acerca de los peligros de acumulación de sales en zonas áridas o semiáridas (elevada ET_c y baja P), regadas con aguas de una cierta salinidad ($CE > 1$ dS m⁻¹), y con sistemas de riego muy eficientes o estrategias de riego deficitario, donde se pueden alcanzar valores elevados de DH y bajos de FL. En estos casos, deben establecerse programas de vigilancia que permitan identificar aquellas situaciones en las que son necesarios riegos de lavado para el control de la salinidad edáfica.

5. Salinidad de la solución del suelo (CEss)

- La sonda de succión es una excelente herramienta para el seguimiento continuo de la salinidad de la solución del suelo, pero exige el control estricto de su estanqueidad y de las pérdidas de vacío producidas por el agrietamiento imperceptible de los tapones de goma expuestos al sol. La aplicación de vaselina o un lubricante similar a dichos tapones es una práctica recomendable para el funcionamiento eficiente de las sondas de succión.
- La salinidad media de la solución del suelo (CEss) en el período de estudio (años 2010-2012) fue relativamente elevada (5.7 dS m⁻¹), en parte debido a la presencia de yeso en el suelo. La CEss media fue máxima en la línea de árboles (LA, 9.5 dS m⁻¹), intermedia en la línea de goteros (LG, 4.3 dS m⁻¹) y mínima junto al gotero (G, 3.2 dS m⁻¹). En promedio, la CEss fue 1.7 veces superior a la CEE, valor próximo al teórico de 2.0 si se asume que el suelo está a capacidad de campo, que la humedad a saturación es el doble de la humedad a capacidad de campo, y que no existe disolución de yeso en el

extracto saturado del suelo. La existencia de valores perdidos de CE_{ss}, particularmente en la posición LA, no permite profundizar con rigor en este tipo de relaciones.

- En base a la media de la CE_{ss} medida en las posiciones de gotero (G) y línea de gotero (LG) de los años 2010-2012, el plástico fue el acolchado más eficiente para el control de la salinidad (CE_{ss} = 2.9 dS m⁻¹), seguido de la corteza de pino (3.7 dS m⁻¹), y del suelo desnudo y geotextil (en torno a 4.0 dS m⁻¹). Este orden relativo de eficiencia de los acolchados basado en medidas continuas de CE_{ss} es más robusto que el basado en medidas puntuales de CE_e.
- En base a los años individuales 2010 y 2011 los resultados fueron conceptualmente consistentes, siendo el suelo desnudo y el geotextil (tratamientos con mayor evaporación) los de mayor salinidad, y el plástico y la corteza de pino (tratamientos con menor evaporación) los de menor salinidad. Sin embargo, en el año 2012 la salinidad del suelo desnudo fue la menor de todos los tratamientos, resultado aparentemente incongruente que se atribuyó al mayor lavado de sales en este tratamiento producido por la lluvia de 60 mm recogida entre junio y septiembre de dicho año.

6. Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

- El valor medio de la ET_c anual de la nectarina en suelo desnudo durante los tres años de estudio fue de 1036 mm. Este alto valor indica las elevadas necesidades hídricas de la nectarina en esta zona semiárida del bajo Ebro Aragonés que exige aplicaciones de riego necesarias para cubrir estas necesidades y el lavado de las sales del suelo.
- La ET_c estacional (marzo a septiembre) de la nectarina con los acolchados de geotextil, corteza de pino y plástico fue en promedio un 97, 85 y 73% de la ET_c estacional de la nectarina en suelo desnudo, respectivamente. Estas diferencias fueron debidas a las correspondientes reducciones de la evaporación del suelo con los distintos acolchados.
- Los valores estacionales del riego más lluvia fueron superiores a los valores de ET_c en los tratamientos con acolchado de plástico y de corteza de pino en los tres años del ensayo. Los altos valores de la humedad del suelo en estos dos tratamientos de acolchado indican que las dosis de riego, similares en este ensayo en todos los tratamientos, podrían reducirse significativamente.
- En relación a la ET_c promedio de los tres años en el suelo desnudo (1036 mm), la ET_c se redujo un 3% en el acolchado geotextil (1005 mm), un 15% en el acolchado de corteza de pino (881 mm) y un 27% en el acolchado plástico (756 mm). Estas reducciones de la ET_c sugieren que se puede reducir el riego en estos porcentajes si bien hay que tener en cuenta que en el caso del acolchado plástico la contribución de la lluvia está limitada debido a la impermeabilidad de este material.

7. Densidad de longitud radicular (DLR)

- La DLR tuvo una distribución radial concéntrica a los goteros, decreciente con la distancia a los mismos, y con una disminución logarítmica con la profundidad de suelo, de tal manera que la DLR fue en torno a 7-10 veces superior en superficie (0-20 cm) que en profundidad (40-60 cm).
- Si se acepta que la tasa de extracción de agua por las raíces está directamente relacionada con la DLR, el modelo de extracción media (en % de la extracción total) sería del 64% a la profundidad del suelo de 0-20 cm, 26% a la profundidad de 20-40 cm y 10% a la profundidad de 40-60 cm. Estos resultados indican que con el riego por goteo de alta frecuencia practicado en esta finca experimental, la humedad y salinidad del suelo a 0-40 cm de profundidad es determinante en la respuesta de la nectarina a estas variables.

- Los resultados obtenidos para el perfil (0-60 cm de profundidad) del suelo desnudo y bajo plástico fueron consistentes con los apartados anteriores, indicando que (1) la humedad gravimétrica media fue un 15% mayor en el suelo bajo plástico, (2) la salinidad media fue un 72% mayor en el suelo desnudo, y (3) la densidad de longitud de raíces media fue similar en ambos tratamientos.

8. Diámetro de tronco

- No hubo diferencias significativas en el diámetro de tronco entre los tratamientos de acolchado en los tres años de estudio ni para todo el periodo experimental del ensayo, pero cuantitativamente el acolchado plástico mostró una tendencia a presentar los mayores incrementos de diámetro del tronco a partir del segundo año del ensayo, seguido por la corteza de pino y el geotextil.

9. Precocidad del fruto

- Los valores de precocidad resultaron muy subjetivos, ya que dependen en gran parte del estado de maduración de la fruta en la fecha de la primera cosecha. Por esta razón se han observado valores muy diferentes de precocidad en los tres años de estudio. Para cada año no se observaron diferencias significativas en la precocidad del fruto entre tratamientos de acolchado. En 2011, el tratamiento de corteza tuvo el mayor porcentaje de precocidad y en 2012 este tratamiento, junto con el tratamiento de plástico, presentaron los mayores valores de precocidad, pero sin diferencias significativas.

10. Producción, productividad y calidad del fruto

- Aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas entre tratamientos para los distintos años de estudio, debe resaltarse que la producción de fruta en el acolchado plástico en relación con la del suelo desnudo fue un 10 % en 2010, un 12 % superior en 2011 y un 7% superior en 2012. La producción acumulada de fruta durante los tres años del ensayo de nectarina, fue de 100.8 Kg árbol⁻¹ en el plástico, 92 Kg árbol⁻¹ en la corteza de pino y 91.4 Kg árbol⁻¹ en el geotextil pero sin diferencia significativa entre los tratamientos.
- No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de acolchado en la productividad de la nectarina (kg de fruta por cm² de sección del tronco) ni en los parámetros de calidad analizados, pero de nuevo el acolchado plástico tendió a mejorar dichos parámetros.

11. Eficiencia del uso del agua (EUAR)

- El acolchado de suelo no tuvo un efecto significativo en la eficiencia del uso del agua de riego. Sin embargo, el tratamiento de acolchado plástico tuvo una tendencia a tener los mayores valores de la EUAR en los tres años del ensayo.

12. Relaciones suelo-agua-planta

- En general los parámetros productivos y de calidad del fruto de nectarina estuvieron positivamente relacionados con la humedad del suelo.
- En el acolchado plástico se encontró una relación positiva entre los parámetros productivos de la nectarina y el valor medio de la temperatura diaria del suelo. Asimismo, la calidad del fruto mejoró en términos generales al aumentar la temperatura del suelo.

- El análisis de las distintas variables de suelo y de nectarina, tanto productivas como de calidad del fruto, sugiere que el acolchado plástico y el de corteza de pino son en general los más recomendables desde un punto de vista ambiental y comercial.
- Los valores medios de producción y productividad medidos globalmente en la parcela experimental e individualmente en cada tratamiento de acolchado indican que no se vieron sensiblemente afectados por la salinidad del suelo. Sin embargo, el análisis individual de la productividad de los árboles control frente a la salinidad del suelo para los años 2010 y 2011 sugiere que la envolvente superior de las observaciones se aproximó a la función de respuesta FAO del melocotonero en suelos sin yeso, de tal manera que la nectarina se vería negativamente afectada por la salinidad para valores superiores a una C_{Ee} umbral de en torno a 1.7 dS m^{-1} , similar a la establecida por FAO para el melocotonero (FAO no proporciona este valor para la nectarina).
- Estas relaciones suelo-agua-planta establecidas en la nectarina de forma tentativa deben validarse con más observaciones, dado que la respuesta de los cultivos leñosos no puede establecerse en base a un número limitado de años experimentales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrisqueta, J.M., Mounzer, S., Alvarez, O., Conejero, W., Garcla-Oreilana, Y., Tapia, L.M., Vera, J., Abrisqueta, I., Ruiz-Sánchez, M.C. (2008). Root dynamics of peach trees submitted to partial rootzone drying and continuous deficit irrigation. *Agric. Water Manage.* 95:959-967.
- Aragüés, R., Puy, J., Isidoro, D. (2004). Vegetative growth response of young olive trees (*Olea europaea* L., cv. Arbequina) to soil salinity and waterlogging. *Plant Soil* 258:68-80.
- Aragüés, R., Puy, J., Royo, A., Espada, J.L. (2005). Three-year field response of young olive trees (*Olea europaea* L., cv. Arbequina) to soil salinity: Trunk growth and leaf ion accumulation. *Plant Soil* 271:265-273.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Rais, D., Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrig. Drain. Paper 56*, Rome. 300 pp.
- Amayreh, J., Al-Abed, N. (2004). Developing crop coefficients for field grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under drip irrigation with black plastic mulch. *Agric. Water Manage.* 73:247-254.
- Arrellano, J., Ríos, P., Castillo, I. (2003). Utilización de tecnologías de producción modernas para obtener ventajas de mercado: los casos del acolchado plástico y semillas híbridas en melón en la comarca lagunera. *Revista Mexicana de Agronegocios* 12:582-595.
- Autio, W. R., Greene, D. W. (1991). Improving the growth of newly planted apple trees. *Hortic. Sci.* 26: 840-843.
- Awoodoyin, R.O., Ogbeide, F.L., Oluwole, O. (2007). Effects of three mulch types on the growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and weed suppression in Ibdan; Rainforest-savanna transition zone of Nigeria. *Tropical Agric. Res. Ext.* 10: 53-60.
- Ayers, R.S., Westcot, D.W. (1985). Water quality for agriculture. *FAO Irrig. Drain. paper 29, Rev. 1*, Rome. 182 pp.
- Bangoul, F., Gausсен, H. (1953). Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* 33 :193-239 .
- Barnett, D.P., Paul, J.L., Harris, R.W., Henderson, D.W. (1983). Estimating root length densities around transplanted container-grown plants. *J. Arboric.* 9:305-308.
- Baxter, P. (1970). Orchard soil management trials: 1. Effect of a weed-free or straw mulched strip on the growth and yield of young fruit trees. *Aust. J. Exp. Agr. Anim. Husb.* 10:467-473.
- Bernstein, L. (1980). Salt tolerance of fruit crops. *USDA Agriculture Bolletin Information*, nº 292.
- Bernstein, L. (1956). Salt tolerance of field crops. *Report to Collaborators*. U.S. Salinity Lab., Riverside, CA.
- Bhattacharyya, R., Singh, R.D., Chandra, S., Kundu, S., Gupta, H.S. (2006). Effect of tillage and irrigation on yield and soil properties under rice (*Oryza sativa*)-wheat (*Triticum aestivum*) system on a sandy clay loam soil of Uttaranchal. *Indian J. Agric. Sci.* 76:405-409.
- Bielorai, H. (1982). The effect of partial wetting of de root zone on yield and water use efficiency in a drip and sprinkler-irrigated mature grapefruit grove. *Irrig. Sci.* 3:89-100.
- Bohm, W. (1979). Methods of Studying Root Systems. *Springer-Verlag*, Berlin.
- Boland, A.M., Jerie, P.H., Mitchell, P.D, Irvine, J.L., Nardella, N. (1996). The effect of saline water table on peach tree water use, growth, productivity and ion uptake. *Aust. J. Agric. Res.* 47:121-139.
- Boland, A.M. Jerie, P., Maas, E. (1997). Long term effect of salinity on fruit trees. *Acta Hort.* 449:599-606.
- Bond, B.J., Kavanagh, K.L. (1999). Stomatal behavior of four woody species in relation to leaf-specific hydraulic conductance and threshold water potential. *Tree Physiol.* 19:503-510.
- Bond, J.J., Willis, W.O. (1969). Soil water evaporation: surface residue rate and placement effects. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33:445-448.

- Bonnano, A.R., Lamont, J.R. (1987). Effect of polyethylene mulches, irrigation method and row covers on soil and air temperature and yield of muskmelon. *Hortic. Sci.* 112:735-738.
- Branas, J. (1969). Concerning the use of plastics. *Progr. Agric. Viticole* 86:63-73.
- Buckerfield, J.C., Webster, K.A. (2002). Organic matter management in vineyards: mulches for soil maintenance. *The Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker* 461:26-30.
- Caballero, R., Bustos, A., Roman, R. (2001). Soil salinity under traditional and improved irrigation schedules in Central Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1210-121.
- Carbó, J., Iglesias, I. (2002). Melocotonero: las variedades de más interés. Ed.: *Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries*. Barcelona. 285 p.
- Ceccanti, B., Masciandaro, G., Macci, C. (2007). Pyrolysis-gas chromatography to evaluate the organic matter quality in a mulched soil. *Soil Tillage Res.* 97:71-78.
- Chaudhry, M.R., Aziz, A.M., Sidhu, M. (2004). Mulching impact on moisture conservation, soil properties and plant growth. *Pakistan J. Water Res.* 82:1-8.
- Charlesworth, P. (2000). Soil water monitoring. Irrigation insights. Paper No. 1, *CSIRO Land and Water*, Canberra, Australia.
- CICLOPLAST (2009). http://www.cicloplast.com/pdf/evolucion_reciclado_plasticos.pdf
- Cook, H.F., Valdes, S.B., Lee, H.C. (2006). Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. *Soil Tillage Res.* 91:227-235.
- Cooper, A.J. (1973). Root temperature and plant growth-A review. *Commonwealth Agriculture Bureaux*, Slough, UK.
- Crisosto, C.H. (1994). Optimum procedures for ripening stone fruit. *Manag. Ripening Fruit.*, 24-25.
- Crossman, S.M.A., Palada, M.C. (1998). The influence of mulch type on yield of parsley and chive production in the U.S. Virgin Islands. In: *Caribbean Food Crops Society; 34 th annual meeting 1998. Rural Agricultural Development Authority, Ministry of Agriculture*. pp. 40-45.
- Czynczyk, A., Mika, A., Bielicki, P., Krawiec, A. (2004). Evaluation of apple cultivars for sustainable fruit production. *J. Fruit Ornament. Plant Res.* 12:251-256.
- Dahiya, R., Ingwersen, J., Streck, T. (2007). The effects of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: experimental findings and modeling. *Soil Tillage Res.* 96:52-63.
- Dancer, J. (1964). The influence of soil moisture and temperature on the growth of apple trees. *Hortic. Res.* 4:3-13.
- Díaz, F., Jimenez, C.C., Tejedor, M. (2005). Influence of the thickness and grain size of tephra mulch on soil water evaporation. *Agric. Water Manage.* 74:47-55.
- Díaz-Pérez, J.C., Batal, K.D. (2002). Colored plastic film mulches affect tomato growth and yield via changes in root-zone temperature. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 127:127-135.
- Dong, Z.Y., Qian, B.F. (2002). Field investigation on effects of wheat-straw/corn-stalk mulch on ecological environment of upland crop farmland. *J. Zhejiang Univ.-SCI.* 3:209-215.
- Dong, H., Li, W., Tang, W., Zhang, D. (2008). Furrow seeding with plastic mulching increases stand establishment and lint yield of cotton in a saline field. *Agron. J.* 100:1640-1646.
- Dong, H., Li, W., Tang, W., Zhang, D. (2009). Early plastic mulching increases stand establishment and lint yield of cotton in saline fields. *Field Crop. Res.* 111:269-275.
- Doussan, C., Vercambre, G., Pagès, L. (1999). Water uptake by two contrasting root systems (maize, peach tree): Results from a model of hydraulic architecture. *Agronomie* 19:255-263.
- Dudeck, A.E., Swanson, N.P., Mielke, L.N., Dedrick, A.R. (1970). Mulches for grass establishment on fill slopes. *Agron. J.* 62:810-812.
- Ekinci, M., Dursun, A. (2009). Effects of different mulch materials on plant growth, some quality parameters and yield in melon (*Cucumis melo* L.). *Pak. J. Bot.* 41:1891-1901.

- Eldredge, E.P., Schock, C.C., Stieber, T.D. (1993). Calibration of granular matrix sensors for irrigation management. *Agron. J.* 85:1228-1232.
- Enciso, J., Wiedenfeld, B., Jifon, J., Nelson, S. (2009). Onion yield and quality response to two irrigation scheduling strategies. *Sci. Hortic.* 120:301-30.
- Erenstein, O. (2002). Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil Tillage Res.* 67:115-133.
- Faber, B.A., Downer, A.J., Menge, J.A. (2003). Effects of mulch on avocado and citrus. In: *Procs. 5th World Avocado Cong.*, Málaga, Spain.
- Fairbourn, M.L. (1973). Effect of gravel mulch on crop yield. *Agron. J.* 65:925-928.
- FAO (1977): Guidelines for Soil Profile Description. FAO, Rome.
- FAO (2011). Food and Agriculture Organization of the United Nations, October 12. <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>
- Fausett, J.B., Rom, C.R. (2001). The effects of transitioning a mature high density orchard from standard herbicide ground-cover management system to organic ground cover management systems. *Research series- Arkansas-Agr. Exp. Sta.* 483:33-36.
- Fear, C.D., Nonnecke, G.R. (1989). Soil mulches influence reproductive and vegetative growth of "Fern" and "Tistar" dayneutral strawberries. *Hortic. Sci.* 24:912-913.
- Fideghelli, C., Della Strada, G., Grassi, F., Morico, G. (1999). The peach industry in the world: present situation and trend. *Acta Hort.* 465:29-40.
- Fisher, P.D. (1995). An alternative plastic mulching system for improved water management in dryland maize production. *Agric. Water Manage.* 27:155-166.
- Fuchs, M., Hadas, A. (2011). Mulch resistance to water vapor transport. *Agric. Water Manage.* 98:990-998.
- Gaikwad, S. C., Ingle, H.V., Panchbhai, D.M., Ingle, S.H. (2004). Effect of different types of mulches on soil moisture, soil temperature and fruit drop in Nagpur Mandarin. *Agric. Sci. Digest* 24:71-72.
- Garcia, D. (2008). The effects of saline irrigation water on the growth and development of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) grown using a plasticulture system. *PhD Thesis. Department of Plant Science.* McGill University. Montreal. Canada.
- Gardner, W.R. (1991). Modeling water uptake by roots. *Irrig. Sci.* 12:109-114.
- Ghosh, P.K., Dayal, D., Bandyopadhyay, K.K., Mohanty, M. (2006). Evaluation of straw and polythene mulch for enhancing productivity of irrigated summer groundnut. *Field Crop. Res.* 99:76-86.
- Girona, J., Mata, M., Arbonés, A., Alegre, S., Rufat, J., Marsal, J. (2003). Peach tree response to single and combined regulated deficit regimes under shallow soils. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 128:432-440.
- Glenn, D.M., Welker, W.V. (1993). Root development patterns in field grown peach trees. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 118:362-365.
- Goldhamer, D.A., Fereres, E., Mata, M., Girona, J., Cohen, M. (1999). Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water stress monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 124:437-444.
- Gonzalo, C.R. (2009). Manejo de suelos en condiciones de escasez de agua. [http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAneXos/IEA-SA-C7/\\$File/SA-C7.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAneXos/IEA-SA-C7/$File/SA-C7.pdf)
- Grattan, S.R., Grieve, C.M. (1999). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Sci. Hortic.* 78:127-157.
- Green, S.R., Clothier, B.E. McLeod, D.J. (1997). The response of sap flow in apple roots to localized irrigation. *Agric. Water Manage.* 33:63-78.
- Gurnsey, S., Lawes, G.S. (1999). Reflective mulches in improving apple color. *Tree Fruits* 3.
- Guerriero, R., Loreti, F., Massai, R., Matteucci, M. (1989). Prove comparative tra nuove selezioni e por- tinnesti del pesco di diversa origine genetica. *Fruticoltura* 51:45-49.

- Gutiérrez, M., Villa, F., Cotrina, F., Albalat, A., Macua, J., Romero, J., Sanz, J., Uribarri, A., Sábada, S., Aguado, G. y del Castillo, J. (2003). Utilización de los plásticos en la horticultura del valle medio del Ebro. Dirección General de Tecnología Agraria. *Informaciones Técnicas*. España.
- Haddadin, S.H., Ghawi, I. (1983). Effect of plastic mulches on soil water conservation and soil temperature in field growth tomato in the Jordan Valley. *Dirasat* 13:25-34.
- Hanson, B. (1999). Soil moisture instruments. *Calif. Agric.* 54:47-50.
- Hanson, B.R., Hopmans, J.W., Simunek, J. (2008). Leaching with subsurface drip irrigation under saline, shallow groundwater conditions. *Vadose Zone J.* 7 :810-818.
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K., Bohnert, H.J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 51:463-499.
- Hatfield, J.L., Sauer, T.J., Prueger, J.H. (2001). Managing soils to achieve greater water use efficiency: A review. *Agron. J.* 93:271-280.
- Haynes, R.J. (1980). Influence of soil management practice on the orchard agro-ecosystem. *Agro-Ecosystems* 6:3-30.
- Hayward, H.E., Long, E.M., Uhvits, R. (1946). Effect of chloride and sulfate salts on the growth and development of the Elberta peach on Shalil and Lovell rootstocks. *Tech. Bull.* 922.
- Hilaire, C., Mathieu, V., Scandella, D. (2000). La qualité organoleptique des peches et nectarines. 1^e partie. *Infos – Ctifl* 161:26-29.
- Hoffman, G.J., Shannon, M.C. (2007). Salinity. *Developments in Agricultural Engineering* 13:131-160.
- Hogue, E.J., Neilsen, G.H. (1987). Orchard floor vegetation management. *Hortic. Rev.* 9:377-430.
- Hosteler, G.L., Merwin, I.A., Brown, M.G., Padilla-Zakour, O. (2007). Influence of geotextile mulches on canopy microclimate, yield, and fruit composition of Cabernet franc. *Am. J. Enol. Vitic.* 58:431-442.
- Hou, X.Y., Wang, F.X., Han, J.J., Kang, S.Z., Fena, S.H. (2010). Duration of plastic mulch for potato growth under drip irrigation in an arid region of Northwest China. *Agric. For. Meteorol.* 150:115-121.
- Hu, W., Duan, S., Sui, Q. (1995). High yield technology for groundnut. *Int. Arachis Newsletter* 15 (Suppl.): 1-22.
- Ibarra-Jiménez, L., Quezada-Martín, R., Cedeno-Rubalcava, B., Río, A.J.D. and De la Rosa-Ibarra, M. (2006). Watermelon response to plastic mulch and row covers. *Eur. J. Hortic. Sci.* 71:262-266.
- Ibarra, L., Flores, J., Quezada, M., Zermeño, A. (2004). Acolchado, riego y micro túneles en tomate, Chile Anaheim y Chile pimienta. *Horticultura* 10:179-187.
- Infante, A. (2004). Abonos verdes y mulch. *Chile Agrícola* 29:30-31.
- Intrigliolo, D.S., Castel, J.R., (2006). Usefulness of diurnal trunk shrinkage as a water stress indicator in plum trees. *Tree Physiol.* 26:303-311.
- Jacometti, M.A., Wratten, S.D., Walter, M. (2007). Management of understory to reduce the primary inoculums of Botrytis cinerea: Enhancing ecosystem services in vineyards. *Biol. Control* 40:57-64.
- Ji, S., Unger, P.W. (2001). Soil water accumulation under different precipitation, potential evaporation, and straw mulch conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:442-448.
- Jia, Y., Li, F.M., Wang, X.L., Yang, S.M. (2006). Soil water and alfalfa yields as affected by alternating ridges and furrows in rainfall harvest in a semiarid environment. *Field Crop. Res.* 97:167-175.
- John, N.W.M. (1987). Geotextiles. *Blackie, Glasgow*, Chapter 7, pp. 160-177.
- Jordán, A., Zavala, L.M., Gil, J. (2010). Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena* 81:77-85.
- Kadayifci, A., Tuylu, G.I., Ucar, Y., Cakmak, B. (2004). Effects of mulch and irrigation water amounts on lettuce's yield, evapotranspiration, transpiration and soil evaporation in Isparta location, Turkey. *J. Biological Sci.* 4:751-755.

- Kang, S.Z., Hu, X.T., Goodwin, I., Jerie, P., Zhang, J. (2002). Soil water distribution, water use and yield response to partial rootzone drying under flood-irrigation condition in a pear orchard. *Sci. Hortic.* 92:277-291.
- Kester, D.E., Asay, Y.R.N. (1986). 'Hansen 2168' and 'Hansen 536': two new Prunus rootstock clones. *Hortscience* 21:331-332.
- Klepper, B. (1992). Development and growth of crop root systems. In: Hatfield JL, Stewart BA, Eds., *Limitations to plant root growth*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 265-286.
- Kramer, P.J., Boyer, J.S. (1995). Water relations of plants and soils. *Academic Press, San Diego*. 495 pp.
- Kumar, S., Dey, P. (2011). Effects of different mulches and irrigation methods on root growth, nutrient uptake, water-use efficiency and yield of strawberry. *Sci. Hortic.* 127:318-324.
- Lamont, W.J. (1993). Plastic mulches for the production of vegetable crops. *Hort. Technology* 3:35-39.
- Lamont, W.J. (2005). Plastics: Modifying the microclimate for the production of vegetable crops. *Hort Technology* 15:477-481.
- Lang, A., Behboudian, M.H., Kidd, J., Brown, H. (2001). Mulch enhances apple fruit storage quality. *Acta Hort.* 557:423-440.
- Larson, G.F. (1985). Electrical sensor for measuring moisture in landscape and agricultural soils. *U.S. Patent 4 531 087*. Date issued: 23.
- Lattanzi, A.R., Meyer, L.D., Baumgardner, M.F. (1974). Influences of mulch rate and slope steepness on interrill erosion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38:946-950.
- Layne, R.E.C., Tan, C.S., Perry, R.L. (1986). Characterization of peach roots in fox sand as influenced by sprinkler irrigation and tree density. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 111:670-677.
- Layne, R.E.C., Tan, C.S. (1988). Influence of cultivars, ground covers, and trickle irrigation on early growth, yield, and cold hardiness of peaches on fox sand. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 113:518-525.
- Layne, D.R., Jiang, Z., Rushing, J.W. (2001). Tree fruit reflective film improves red skin coloration and advances maturity in peach. *Hort. Technology* 11:234-242.
- Leal, G.R. (2007). Influence of reflective mulch on Pinot noir grape and wine quality. *Master of Applied Science, Lincoln University*. New Zealand.
- Levin, I.R., Assaf, R., Bravdo, B. (1979). Soil moisture and root distribution in an apple orchard irrigated by ticklers. *Plant Soil* 52:31-40.
- Li, S.Q., Lan, N.J. (1995). Achievements and progresses in the research of wheat mulched by plastic films. *Gansu. Agric. Sci. Tech.* 5:1-3.
- Liang, Y.L., Wu, X., Zhu, J.J., Zhou, M.J., Peng, Q. (2011). Response of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) to mulching practices under planted greenhouse condition. *Agric. Water Manage.* 99:111-120.
- Maas, E.V., Hoffman, G.J. (1977). Crop salt tolerance-current assessment. *J. Irrig. Drainage Eng.-ASCE* 103:115-134.
- Maas, E.V. (1990). Crop salt tolerance. In: *Agricultural Salinity Assessment and Management Manual*. K.K. Tanji (Ed.). ASCE. New York, USA, pp. 262-304.
- Maas, E.V. (1993). Salinity and citriculture. *Tree Physiol.* 12:195-216.
- MAGRAMA. (2011). Anuario de estadística 2011. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*. España. 1189 pp.
- Marangoni, B., Cobianchi, D., Antonnelli, M., Livera Ni, A., Tacconi, R., Tazzarini, G. (1985). The performance of different rootstocks in peach replanting. *Acta Hort.* 173:289-298.
- Marler, T.E., Davies, F.S. (1990). Microsprinkler irrigation and growth of young 'Hamlin' orange trees. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 115:45-51.
- Marschner, H. (1986). Mineral nutrition of higher plants. *Academic Press, London*. 674 pp.

- Martin, Ch.A., Ponder, H.G., Gilliam, Ch.A. (1991). Evaluation of landscape fabrics in suppressing growth of weed species. *J. Environ. Hort.* 9:38-40.
- Matheus, J., Caracas, M., Fernández, O. (2007). Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (zea mays l). *Agricultura Andina* 13:27-31.
- Maurya, P.R., Lal, R. (1981). Effect of different mulch materials on soil and on root growth and yield of maize and cowpea. *Field Crop. Res.* 4:33-45.
- McCraw, D., Motes, E.J. (2009). Use of Plastic Mulch and Row Covers in Vegetable Production. <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-1099>.
- Melgarejo, P. (2000). Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas vol. I. El medio ecológico, la higuera, el alcaparro y el nopal. *Mundi-Prensa y AMV Ediciones. Madrid.* 382 pp.
- Mellouli, H.J., Wesemael, B., Poesen, J., Hartmann, R. (2000). Evaporation losses from bare soils as influenced by cultivation techniques in semi-arid regions. *Agric. Water Manage.* 42:355-369.
- Mika, A., Krzewińska, D., Olszewski, T. (1998). Effects of mulches, herbicides and cultivation as orchard groundcover management systems in young apple orchard. *J. Fruit Ornament. Plant Res.* 6:1-13.
- Mika, A., Treder, W., Buler, Z., Rutkowski, K., Michalska, B. (2007). Effects of orchard mulching with reflective mulch on apple tree canopy irradiation and fruit quality. *J. Fruit Ornament. Plant Res.* 15:41-53.
- Milne, A.E., Ferguson, R.B., Lark, R.M. (2006). Estimating a boundary line model for a biological response by maximum likelihood. *Ann. Appl. Biol.* 149:223-234.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM) (2012). <http://www.magrama.gob.es/app/MaterialVegetal/fichaMaterialVegetal.aspx?idFicha=966>
- Moreno, M.A., Cambra, R. (1994). 'Adarcias', an almond x peach hybrid rootstock. *Hortscience* 29: 925.
- Moreno, M.M., Moreno, A., Mancebo, I., Meco, R., Lopez, J.A. (2004). Comparación de diferentes materiales de acolchado en cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Actas VI Congreso Sociedad Española Agricultura Ecológica (SEAE), Almería, España. p. 243.
- Moreno, M.M., Moreno, A. (2008). Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop. *Sci. Hort.* 116:256-263.
- Morgan, K.T., Parsons, L.R., Wheaton, A. (2001). Comparison of laboratory- and field derived soil water retention curves for a fine soil using tensiometric, resistance and capacitance methods. *Plant Soil* 234:153-157.
- Munguía, J., Zermeño, A., Quezada, R., De la Rosa, M.L., Torres, A. (2004). Relación entre los componentes del balance de energía y la Resistencia estomática en el cultivo de melón bajo acolchado plástico. *Revista Internacional de Botánica Experimental* 73:181-19.
- Neilsen, G.H., Hogue, E.J., Drought, B.G. (1986). The effect of orchard soil management on soil temperature and apple tree nutrition. *Can. J. Soil Sci.* 66:701-711.
- Neilsen, G.H., Hogue, E.J., Forge T., Neilsen, D. (2003). Mulches and biosolids affect vigor, yield and leaf nutrition of fertigated high density apple. *Hortscience* 38:41-45.
- Neilsen, G.H., Hogue, E.J., Neilsen, D. (2004). Use of organic applications to increase productivity of high density apple orchards. *Acta Hort.* 638:347-356.
- Newman, E.I. (1966). A method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.* 3:139-145.
- Ngouajio, M., Ernest, J. (2005). Changes in the physical, optical, and thermal properties of polyethylene mulches during double cropping. *Hortscience* 40:94-97.
- Ogbobe, O., Essien, K.S., Adebayo, A. (1998). A study of biodegradable geotextiles used for erosion control. *Geosynth. Int.* 5:545-553.

- Pearson, G.A., Goss, J.A., Hayward, H.E. (1957). The influence of salinity and water table on the growth and mineral composition of young grapefruit trees. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.* 69:197-208.
- Pomeranz, Y., Meloan, C.E. (1987). Food analysis: Theory and practice. *Van Nostrand Reinhold*, New York.
- Perez-Pastor, A. (2001). Estudio agronómico y fisiológico del albaricoquero en condiciones de infradotación hídrica. *PhD Thesis*, Universidad Politecnica de Cartagena, España.
- Rahman, M.J., Uddin, M.S., Bagum, S.A., Mondol, A.T.M.A.I., Zaman, M.M. (2006). Effect of mulches on the growth and yield of tomato in the costal area of Bangladesh under rainfed condition. *Int. J. Sustain. Crop Prod.* 1:6-10.
- Ramakrishna, A., Tam, H.M., Wani, S.P., Long, T.D. (2006). Effects of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. *Field Crop. Res.* 95:115-125.
- Rees, H.W., Chow, T.L., Daigle, J.L. (1999). Effectiveness of terrace grassed waterway systems for soil and water conservation: A field evaluation. *J. Soil Water Conserv.* 54:577-583.
- Rhoades, J.D., Oster, J.D. (1986). Solute Content. In: A. Klute (Editor), *Methods of Soil Analysis, Part1. Physical and Mineralogical Methods. Am. Soc. of Agronomy*, pp. 985-1006.
- Richards, D. (1983). The grape root system. *Hort. Review* 5:127-168.
- Richards, D., Cockroft, B. (1975). The effect of soil water on root production of peach trees in summer. *Aust. J. Agric. Res.* 26:173-180.
- Rickson, R.J. (2006). Controlling sediment at source: an evaluation of erosion control geotextiles. *Earth Surf. Process. Landf.* 31:550-560.
- Robinson, D. (1988). Mulches and herbicides in ornamental plantings. *Hortscience* 23:547-552.
- Román, R., Caballero, R., Bustos, A. (1999) Field water drainage under traditional and improved irrigation schedule for corn in Central Spain. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1811-1817.
- Romero P., Botía P., García, F. (2004). Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on vegetative development and yield of mature almond trees. *Plant Soil* 260:169-181.
- Romic, D., Romic, M., Borosic, J., Poljak, M. (2003). Mulching decrease nitrate leaching in bell pepper (*Capsicum annum L.*) cultivation. *Agric. Water Manage.* 60:87-97.
- Royo, A., Aragüès, R. (1989). Efectos de la salinidad sobre las plantas: Tolerancia, manejo agronómico, genética y mejora. *Diputación General de Aragón (DGA)*. 59 pp.
- Rozpara, E., Grzyb, Z.S., Bielicki, P. (2008). Influence of various soil maintenance methods in organic orchard on the growth and yielding of sweet cherry trees in the first years after planting. *J. Fruit Ornament. Plant Res.* 16:17-24.
- Ruiz-Sánchez, M.C., Plana, V., Ortuño, M.F., Tapia, L.M., Abrisqueta, J.M. (2005). Spatial root distribution of apricot trees in different soil tillage practices. *Plant Soil* 272:211-221.
- Santos, F.L., Valverde, P.C., Ramos, A.F., Reis, J.L., Castanheira, N.L. (2007). Water use and response of a dry-farmed olive orchard recently converted to irrigation. *Biosyst. Eng.* 98:102-111.
- Schoups, G., Hopmans, J.W., Young, C.A., Vrugt, J.A., Wallender, W.W., Tanji, K.K., Panday, S. (2005). Sustainability of irrigated agriculture in the San Joaquin Valley, California. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 102:15352-15356.
- Shalhevet, J. (1994). Using water of marginal quality for crop production: major issues. *Agric. Water Manage.* 25:233-269.
- Shannon, M.C., Grieve, C.M. (1999). Tolerance of vegetable crops to salinity. *Sci. Hortic.* 78:5-38.
- Shatar, T.M., McBratney, A.B. (2004). Boundary-line analysis of field-scale yield response to soil properties. *J. Agric. Sci.* 142:553-560.
- Smets, T., Poesen, J. (2009). Impacts of soil tillage on the effectiveness of biological geotextiles in reducing runoff and interrill erosion. *Soil Tillage Res.* 103:356-363.

- Smith, A.L., Bengough, A.G., Engels, C., van Noordwijk, M., Pellerin, S. (eds.) (2000). *Root Methods: A Handbook*. Springer-Verlag, Berlin. 587 pp.
- Soil Survey Staff. (2006). *Keys to Soil Taxonomy*. United States Department of Agriculture. Washington D.C.
- Stevens, R.M., Douglas, T. (1994). Distribution of grapevine roots and soil salt under drip and full-cover microjet irrigation system. *Irrig. Sci.* 15:147-52.
- Stewart, D. (2005). The effect of soil and irrigation management on grapevine performance. *PhD Thesis, University of Adelaide, Australia*.
- Stinson, J., Brinen, G.M., Connell, D., Black, R. (1990). Evaluation of landscape mulches. *Hortscience* 103:372-377.
- Sun, H., Shao, L., Liu, X., Miao, W., Chen, S., Zhang, X. (2012). Determination of water consumption and the water-saving potential of three mulching methods in a jujube orchard. *Eur. J. Agron.* 43:87-95.
- Sutherland, R.A., Menart, T., Perry, J.L., Penn, D. (1998). The influence of rolled erosion control systems on soil temperature and surface albedo : Part I. A Greenhouse experiment. *Land Degrad. Dev.* 9:159-171.
- Szewczuk, A., Gudarowska, E. (2004). The effect of soil mulching and irrigation on yielding of apple trees in ridge planting. *J. Fruit Ornament. Plant Res.* 12:139-140.
- Szewczuk, A., Gudarowska, F. (2006). Effects of mulching in a nectarine orchard in sustainable fruit production. *J. Fruit Ornament. Plant Res.* 14:217-223.
- Tan, C.S., Buttery, B.R. (1982). The effect of soil moisture stress to various fractions of the root system on transpiration, photosynthesis, and internal water relations of peach seedlings. *J. Am. Hort. Sci.* 107:845-849.
- Tarara, J.M. (2000). Microclimate modification with plastic mulch. *Hortscience* 35:169-180.
- Tarara, J.M., Ham, J.M. (1999). Measuring the sensible heat flux in plastic mulch culture with aerodynamic conductance sensors. *Agric. For. Meteorol.* 95:1-13.
- Teasdale, J. (2003). Principles and practices of using cover crops in weed management systems *In: Weed management for developing countries. Addendum*.
- Tejedor, M., Jiménez, C.C., Díaz, F. (2003). Use of volcanic mulch to rehabilitate saline-sodic soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1856-1861.
- Tennant, D. (1975). A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.* 63:995-1001.
- Tesi, R. (2000). *Medios de protección para la hortoflorofruticultura y los viverismo*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Thorntwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Ev.* 38:55-94.
- Tiwari, K.N., Mal, P.K., Singh, R.M., Chattopadhyay, A. (1998). Response of okra to drip irrigation under mulch and non-mulch conditions. *Agric. Water Manage.* 38:91-102.
- Todd, R.W., Klocke, N.L., Hergert, G.W., Parkhurs, A.M. (1991). Evaporation from soil influenced by crop shading, crop residue, and wetting regime. *Trans. ASAE* 34:461-466.
- Tolk, J.A., Howell, T.A., Evett, S.R. (1999). Effect of mulch, irrigation and soil type on water use and yield of maize. *Soil Tillage Res.* 50:137-147.
- Tripathi, R.P., Katiyar, T.P.S. (1984). Effect of mulches on the thermal regime of soil. *Soil Tillage Res.* 4:381-390.
- Turner, N.C., Long, M.J. (1980). Errors arising from rapid loss in the measurement of leaf water potential by the pressure chamber technique. *Aust. J. Plant Physiol.* 7:527-537.

- Turney, J., Menge, J. (1994). Root health: Mulching to control root disease in avocado and citrus. *Riverside, California Avocado Society, Inc., California Avocado Commission and Citrus Research Board*. 8p.
- Unger, P.W., Parker, J.J. (1976). Evaporation reduction from soil with wheat, sorghum, and cotton residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:938-942.
- Urdanoz, V., Aragüés, R. (2009). Three-year field response of drip-irrigated grapevine (*Vitis vinifera* L., cv. Tempranillo) to soil salinity. *Plant Soil* 324:219-230.
- Valenzuela, P.A., Gutiérrez, H.C. (2003). Acolchado de suelo mediante filmes de polietileno. <http://www.biblioteca.org.ar/libros/8862.pdf>.
- Van Derwerken, J.E., Wilcox-Lee, D. (1988). Influence of plastic mulch and type and frequency of irrigation on growth and yield of bell pepper. *Hort. Sci.* 23:985-988.
- Van Zyl, J.L. (1988). The grapevine root and its environment. Department of agriculture and water supply, Republic of South Africa. N° 215, 146 pp.
- Walsh, B.D., Salmins, S., Buszard, D.J., MacKenzie, A.F. (1996). Impact of soil management systems on organic dwarf apple orchards and soil aggregate stability, bulk density, temperature and water content. *Can. J. Soil Sci.* 96:203-209.
- Wan, S., Kang, Y., Wang, D., Liu, S.P. (2010). Effect of saline water on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield and water use under drip irrigation in North China. *Agric. Water Manage.* 98:105-113.
- Wang, R., Kang, Y., Wan, S., Hu, W., Liu, S.H., Liu, S.H. (2011). Salt distribution and the growth of cotton under different drip irrigation regimes in a saline area. *Agric. Water Manage.* 100:58-69.
- Webb, R.A. (1972). Use of the boundary line in the analysis of biological data. *J. Hort. Sci.* 47:309-319.
- Wells, O.S., Loy, J.B. (1985). Intensive vegetable production with cowcovers. *Hortscience* 20:822-826.
- West, D.W. (1978). Water use and sodium chloride uptake by apple trees. II. The response to soil oxygen deficiency. *Plant Soil* 50:51-56.
- West, D.W., Taylor, J.A. (1984). Response of six grape cultivars to the combined effects of high salinity and rootzone waterlogging. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 109:844-851.
- Wolstenholme, B.N., Moore-Gordon, C., Cowan, A. (1997). Orchard mulching effects on avocado fruiting. *Conference'97 Searching for Quality. Australian Avocado Grower's Federation Inc. Millenium Hotel, Rotorua, New Zealand* 23-26:119-130.
- Working Group IUSS WRB (2006). World reference base for soil resources. *World Soil Resources Reports no 103, UN Food and Agriculture Organization, Rome, 2006*, 128 pp.
- Wulfsohn, D., Nyengaard, J.R. (1999). Simple stereological procedure to estimate numbers and dimensions of root hairs. *Plant Soil* 209:129-136.
- Xie, Z., Wang, Y., Jiang, Y., Wei, X. (2006). Evaporation and evapotranspiration in a watermelon field mulched with gravel of different sizes in northwest China. *Agric. Water Manage.* 81:173-184.
- Yang, Y.M., Liu X.J., Li, W.Q., Li, C.Z. (2006). Effect of different mulch materials on winter wheat production in desalinized soil in Heilonggang region of North China. *J. Zhejiang Univ.-SCI.* 7:858-867.
- Yuan, C., Lei, T., Mao, L., Liu, H., Wu, Y. (2009). Soil surface evaporation processes under mulches of different sized gravel. *Catena* 78:117-120.
- Zhang, Q.T., Inoue, M., Inosako, K., Irshad, M., Kondo, K., Qui, G.Y., Wang, S.H. (2008). Ameliorative effect of mulching on water use efficiency of swiss chard salt accumulation under saline irrigation. *J. Food Agric. Environ.* 3-4:480-485.
- Zhou, L.M., Li, F.M., Jin, S.L., Song, Y.J. (2009). How two ridges and the furrow mulched with plastic film affect soil water, soil temperature and yield of maize on the semiarid Loess Plateau of China. *Field Crop. Res.* 113:41-47.
- Ziska, L.H., DeJong, T.M., Hoffman, G.F., Mead, R.M. (1991). Sodium and chloride distribution of salt-stressed *Prunus salicina*, a deciduous tree species. *Tree Physiol.* 8:47-57.

ANEJOS

Anejo 1. Año 2010. Valores medidos de CEss en los distintos tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo (LA, G y LG), profundidades de suelo (20 y 40 cm) y bloques (1 a 4).

Geotextil-2010		Bloque 1						Bloque 2						Bloque 3						Bloque 4					
Fecha de muestreo	Día Juliano	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40
24-03-10	83	10.5	9.6	1.5	2.5	5.0	4.5		13.5	1.3		6.2	5.0	8.3	8.1	3.3	2.1	9.4	4.6		11.8	2.3	1.7	3.9	3.4
30-03-10	89	7.0	6.7	1.2	2.2	5.3	5.2	5.2	17.2	1.2		6.5	4.5	8.4	11.5	2.6	1.8	9.7	5.0	4.3	14.1	1.8	1.4	3.1	2.1
07-04-10	97	4.3	5.3	1.2	1.7	5.0	5.1	5.8	18.5	1.2		6.0	3.5	8.5	13.0	2.1	1.5	8.4	4.8	4.1	15.0	1.5	1.3	2.2	1.5
13-04-10	103	4.3	4.7	1.3	1.5	4.5	4.8	6.2	19.0	1.5		5.5	2.9	8.8	13.8	1.9	1.3	7.2	4.6	4.0	14.9	1.6	1.6	2.1	1.5
21-04-10	111	4.8	4.5	1.5	1.5	4.3	4.6	6.4	19.6	1.6		5.2	2.4	8.7	14.6	1.9	1.3	6.7	4.4	3.9	14.6	1.6	1.5	1.9	1.5
27-04-10	117	5.3	4.1	1.5	1.5	4.5	4.3	6.7	19.4	1.3		5.2	2.3	9.2	14.8	1.8	1.3	6.6	4.4	4.0	14.1	1.4	1.3	1.4	1.5
05-05-10	125	6.0	3.0	1.5	1.5	4.8	3.9	7.3	19.4	1.6		4.9	2.0	9.7	14.7	2.0	1.3	6.7	4.1	4.3	13.6	1.5	1.4	1.6	1.6
11-05-10	131	6.6	3.1	1.7	1.7	5.1	3.7	7.3	19.3	1.7		4.8	1.9	9.9	15.1	2.1	1.4	6.9	4.1	4.6	13.1	1.6	1.5	1.7	1.7
18-05-10	138	6.9	3.1	2.1	1.7	5.1	3.4	7.4	19.2	1.7		5.0	2.0		15.0	2.3	1.4		4.3	5.1	12.7	1.7	1.6	1.7	1.9
25-05-10	145	7.6	3.4	2.8	2.2	11.0	3.1		18.7	1.4		5.4	2.2		14.8	2.3	1.5		4.9		12.2	1.4	1.3	1.4	
01-06-10	152		3.6	3.4	3.8		2.8		19.2	1.6		2.8			15.0	2.0	2.1					1.2	1.2	1.2	
09-06-10	160			2.7	3.6		2.8			1.8		4.6				2.2	2.6					1.1		1.1	
14-06-10	165			1.8	3.4	8.4	3.2			1.3		4.8	4.5			1.6	3.1					1.1		1.2	1.3
23-06-10	174			1.8	3.1	9.6	3.1			1.5		5.8	5.8			1.6	3.4	11.1				1.2	1.2	1.4	2.6
30-06-10	181			1.8	3.5	10.9	2.9			1.5		8.8	7.1			1.7	3.0	11.1				1.3	2.1	1.4	2.5
06-07-10	187			1.8	3.3	11.5	3.1			1.5		9.6	7.0			1.6	2.3	10.8	7.7			1.3	1.5	1.4	2.2
13-07-10	194			1.8	3.2	11.2	2.9					10.7	7.9			1.5	2.0		8.5				2.8	1.3	1.3
20-07-10	201					10.8																			
29-07-10	210					10.4																			
19-08-10	231			2.5		10.7				2.0						2.8						1.5	4.0		
31-08-10	243			2.0		10.9				2.2						3.5						1.4	3.6		
21-09-10	264			1.6	3.7	9.9	8.0			2.5		9.2	8.9				2.3	7.8	9.1			1.6	4.9		5.4
28-09-10	271			1.9	3.4	12.3	8.5			2.8		8.4	6.9				2.6	7.3	9.3			1.9	5.2		2.5

Anejo 1. Año 2010. Valores medidos de CEss en los distintos tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo (LA, G y LG), profundidades de suelo (20 y 40 cm) y bloques (1 a 4).

Desnudo-2010		Bloque 1						Bloque 2						Bloque 3						Bloque 4					
Fecha de muestreo	Día Juliano	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40
24-03-10	83			1.5	2.2	6.9	5.9	6.0	10.4			2.1	3.2	4.6	5.2	2.8	2.7	5.9	5.9		6.6	2.3	1.6	3.8	5.2
30-03-10	89			1.4	2.2	7.2	6.1	6.9	13.4			2.1	4.1	4.6	6.5	2.2	3.3	6.1	6.3	7.8	8.3	1.5	1.5	3.1	5.7
07-04-10	97	16.0	14.8	1.2	1.9	6.5	5.3	7.8	15.2			2.0	4.8	4.7	7.5	1.9	2.8	5.9	6.7	8.5	9.4	1.3	1.2	2.7	5.7
13-04-10	103		15.9	1.3	1.7	6.0	4.8	8.5	16.0			2.0	5.1	4.9	8.2	1.8	2.4	5.5	6.7	8.6	10.3	1.6	1.6	2.5	5.7
21-04-10	111	19.6	17.2	1.4	1.7	5.9	4.3	8.7	16.5			2.0	5.5	5.0	8.7	1.9	2.2	5.2	6.6	8.0	10.7	3.2	1.5	2.5	5.7
27-04-10	117	19.8	17.3	1.3	1.6	6.1	4.0	9.0	16.8			2.1	5.7	5.2	9.0	1.5	2.2	5.2	6.7	6.5	9.5	1.4	1.3	2.4	5.4
05-05-10	125	15.5	17.8	1.6	1.7	6.3	3.2	9.7	16.7			2.2	6.1	7.8	9.7	2.3	2.1	5.4	7.0	5.0	6.8	2.6	1.4	2.5	5.9
11-05-10	131	17.1	17.8	1.6	1.7	6.4	2.8	9.4	16.8			2.3	6.4	8.6	9.8	2.7	2.3	4.5	6.3	4.6	6.2	1.4	1.6	2.7	6.0
18-05-10	138	20.2	17.8	1.9	1.7		2.5	14.6	16.6				6.7		10.2	4.0	4.2		7.4	4.3	5.6	3.0	1.8	2.7	6.1
25-05-10	145	14.3	17.2	2.1			2.4		16.0						16.6	5.3				3.7	5.2	2.8	1.6	3.2	6.6
01-06-10	152		17.6	2.2			2.3		16.5							4.3				3.4	5.2	2.1	1.4	1.9	7.4
09-06-10	160			1.8			2.2									3.2						1.4	1.3	2.2	9.4
14-06-10	165			1.8	2.9	9.2	2.0					6.3				2.7	4.4					1.4	1.2	2.7	9.5
23-06-10	174			1.6	3.5	8.9	2.0					8.9				5.7						1.5	1.4	2.4	10.0
30-06-10	181			2.4	1.7	3.5	8.0					8.6				3.0	6.6	8.9				1.5	1.4	2.6	11.6
06-07-10	187			1.6	3.1	2.5	6.5					5.9				2.6	6.1	7.9	7.7			1.6	1.4	2.7	11.5
13-07-10	194			1.6	3.0	6.0	2.2						10.2				6.1						1.6	2.2	11.6
20-07-10	201			1.8		7.1	4.1																1.5	2.8	13.4
29-07-10	210			1.7		7.9	4.4																1.4	2.0	14.3
19-08-10	231			2.4	4.9	9.5	5.7									7.9						1.7	1.7	5.0	15.5
31-08-10	243			1.9	3.7	6.2	6.5									9.2							1.7	6.1	12.2
21-09-10	264			2.5	2.5	3.3	9.9					8.7	5.6			4.5	5.6	10.8	10.1				1.5	1.6	8.9
28-09-10	271			2.9	2.5	3.2	7.2					7.8	5.1				5.7		11.9				2.4	1.9	6.8

Anejo 1. Año 2010. Valores medidos de CEs en los distintos tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo (LA, G y LG), profundidades de suelo (20 y 40 cm) y bloques (1 a 4).

Corteza-2010		Bloque 1						Bloque 2						Bloque 3						Bloque 4					
Fecha de muestreo	Día Juliano	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40
24-03-10	83	5.8	10.6	1.3	1.0	2.3	4.4			1.5	2.5	5.2	7.5	5.3	7.3	3.1	3.3	4.1	6.5	6.0		3.6	1.6	4.6	6.2
30-03-10	89	6.5	12.6	1.1	1.0	2.4	4.4			1.2	2.2	5.5	8.5	5.8	10.3	2.6	3.1	3.4	5.5	6.4		2.6	1.3	4.1	7.1
07-04-10	97	6.9	13.4	1.1	1.1	2.5	3.7	4.2		1.2	1.8	5.3	7.9	6.0	12.5	2.3	2.4	2.8	4.4	5.5	6.0	2.2	1.2	3.2	7.1
13-04-10	103	6.8	13.1	1.3	1.6	2.6	3.2	4.2	9.7	1.4	1.6	5.0	7.2	6.0	13.9	2.2	2.0	2.5	3.7	4.4	3.5	2.1	1.6	2.8	6.8
21-04-10	111	6.6	12.9	1.5	1.8	2.8	3.0	4.4	10.3	1.5	1.6	4.8	6.7	5.9	14.4	2.3	1.8	2.3	3.3	3.9	2.7	2.1	1.6	2.4	6.7
27-04-10	117	6.6	12.5	1.3	1.3	3.2	2.7	4.8	10.3	1.3	1.5	4.9	6.4	6.0	14.6	2.3	1.7	2.3	3.1	3.6	2.4	1.9	1.3	1.6	6.7
05-05-10	125	6.4	11.9	1.4	1.4	3.6	2.5	5.6	10.5	1.4	1.6	5.1	6.0	6.1	14.6	2.4	1.8	2.4	2.8	3.4	2.0	1.8	1.4	1.8	6.7
11-05-10	131	6.3	11.5	1.6	1.6	4.0	2.5		10.7	1.6	1.7	5.0	5.9	6.2	14.6	2.6	1.8	2.5	3.0	3.2	1.9	1.7	1.5	2.1	6.8
18-05-10	138	6.2	10.9	1.7	1.7	3.5	2.6		10.8	1.7	1.6	5.2	5.8	6.4	14.9	2.9	1.9		3.1	3.2	1.9	1.8	1.6	3.1	7.0
25-05-10	145	6.4	10.7	1.5	1.4	5.3	2.8		10.9	1.6	1.9		5.7		14.9	2.7	1.6		3.7	3.4	2.0	1.5	1.4	4.1	7.2
01-06-10	152	6.6	10.5	1.5	1.3	7.2	3.3		11.1	1.4	2.8		9.0		14.7	3.4	1.6		2.9	3.4	2.3	1.6	1.3	2.7	7.6
09-06-10	160			1.7	1.4	9.1	4.3			1.7	3.7		5.7			4.2	1.5		2.6			1.6	1.2	1.4	8.4
14-06-10	165			1.6	1.2	8.8	4.3			1.3	3.8		5.6			3.2	1.4	2.4	2.0			1.3	1.2	1.3	8.2
23-06-10	174			1.7	1.4	8.8	5.2			1.5	3.4	7.6	5.5			3.6	1.8		1.3			1.3	1.3	1.3	7.9
30-06-10	181			1.6	1.4	9.2	6.1			1.4	3.6	8.5	5.6			3.8	2.2		2.6			1.4	1.3	1.4	8.2
06-07-10	187			1.7	1.4	7.6	6.5			1.4	3.4	8.2	5.5			2.9	2.0		2.6			1.4	1.4	1.3	8.6
13-07-10	194			2.1	1.6		6.9			1.6	3.3	8.4	5.1			3.0	2.2		2.7			1.4	1.4	1.4	8.5
20-07-10	201			2.4						1.5						6.6	3.8					1.3	1.3	1.5	8.9
29-07-10	210			1.9						1.2						5.5	6.4					1.3	1.3	1.3	9.2
19-08-10	231			2.5						1.9	5.9					4.3	9.0					1.4	1.5	1.3	
31-08-10	243			2.2		2.9				1.7	5.5					3.0	6.0					1.4	1.4	1.4	
21-09-10	264			2.0	5.3	5.0	10.8			2.2	5.2	11.3				1.8	3.0		4.8			1.7	2.0		8.9
28-09-10	271				5.4							10.5							5.6				3.0		9.3

Anejo 1. Año 2010. Valores medidos de CEss en los distintos tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo (LA, G y LG), profundidades de suelo (20 y 40 cm) y bloques (1 a 4).

Plástico-2010		Bloque 1						Bloque 2						Bloque 3						Bloque 4					
Fecha de muestreo	Día Juliano	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40
24-03-10	83	3.6	9.1	1.2	1.4		1.8		7.5	1.4	2.3		5.2	5.0	8.1	1.5	1.9	4.1	3.7		7.0	1.2	1.2	4.3	5.4
30-03-10	89	4.1	11.6	1.1	1.2		1.4		9.1	1.3	2.0		6.0	5.1	10.0	1.2	1.7	3.7	3.8		8.5	1.2	1.1	3.7	6.2
07-04-10	97	3.4	12.8	1.1	1.2		1.2	5.9	10.3	1.3	1.7		5.9	5.1	10.8	1.3	1.4	3.3	3.6		9.0	1.3	1.2	3.1	6.2
13-04-10	103	2.2	12.5	1.7	1.4		0.9	6.1	11.0	1.5	1.6		5.7	5.1	10.9	1.7	1.4	3.1	3.4		8.7	1.7	1.6	2.7	6.1
21-04-10	111	1.8	11.8	1.4	1.4		0.8	6.4	11.5	1.6	1.6		5.4	5.3	10.9	1.6	1.4	3.0	3.4		8.9	1.6	1.5	2.5	5.8
27-04-10	117	1.6	10.9	1.2	1.2		0.9	6.8	11.7	1.5	1.3		5.2	5.3	10.4	1.3	1.2	2.8	3.4		8.4	1.4	1.3	1.4	5.0
05-05-10	125	1.5	9.6	1.4	1.4		0.8		12.0	1.7	1.4		5.0	5.3	9.6	1.5	1.4	2.8	3.4		8.8	1.7	1.4	1.6	5.1
11-05-10	131	1.5	9.2	1.6	1.5		0.7		12.0	1.9	1.5		5.0	5.2	8.6	1.6	1.5	2.8	3.4		8.7	1.7	1.5	1.8	5.4
18-05-10	138	1.6	8.4	1.8	1.6		0.7		12.3	1.9	1.6		4.7	5.3	8.8	1.7	1.6	2.8	3.7		8.8	2.0	1.6	1.9	
25-05-10	145	1.7	7.7	1.6	1.3		0.9		12.6	1.7	1.3			6.2	9.3	1.4	1.5	3.2	3.7			1.8	1.3	2.3	
01-06-10	152	1.6	7.2	1.5	1.3		0.8			1.5	1.6				9.6	1.2	1.4	4.3				1.5	1.1	2.0	
09-06-10	160			1.5	1.2		0.6			1.4	1.8					1.2	1.4	4.5				1.2	1.1	1.6	
14-06-10	165			1.3	1.2		0.7			1.4	1.6					1.3	1.3	5.4	4.5			1.2	1.1	1.7	
23-06-10	174			1.6	1.3		1.0			1.5	2.0					1.4	1.6	4.8	4.7			1.3	1.2	1.5	2.4
30-06-10	181			1.5	1.4		1.3			1.6	2.5					1.4	1.6	5.3	4.9			1.5	1.3	1.4	1.6
06-07-10	187			1.5	1.3		2.0			1.6	2.6					1.4	1.7	5.6	4.7			1.5	1.4	1.4	1.5
13-07-10	194			1.9	1.3		2.8									1.5	2.1	5.4	3.9				1.3	1.2	1.7
20-07-10	201			2.3	1.3											1.4	3.5		3.2				1.3	1.3	
29-07-10	210			1.8	1.2											1.3	3.9		3.0				1.2	3.5	
19-08-10	231			1.8	2.1					1.6						1.8	3.6	11.3				1.8	4.8	5.7	
31-08-10	243			2.6	1.9					1.7						1.8	4.3	9.4				1.4	3.2	3.7	
21-09-10	264			1.7	1.8		2.5			1.8	6.0					2.0	5.0	7.6	7.5				1.6	1.7	1.4
28-09-10	271						1.4									2.4	5.4	9.0					1.9		

Anejo 2. Año 2011. Valores medidos de CEss en los distintos tratamientos de acolchado. posiciones de muestreo (G y LG). profundidades de suelo (20 y 40 cm) y bloques (1 a 4).

Geotextil-2011		Bloque 1				Bloque 2				Bloque 3				Bloque 4			
Fecha de muestreo	Día Juliano	G-20	G-40	LG-20	LG-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40
18-03-11	77	1.8					1.8	5.3		1.8							
23-03-11	82						1.6	5.3			1.5						1.2
01-04-11	91						1.5	5.7			1.5						1.2
06-04-11	96					2.3	1.4	5.5	4.7		1.4						1.2
13-04-11	103						1.5	4.9			1.4						1.1
20-04-11	110		1.5				1.5	4.1		1.3	1.4						1.3
27-04-11	117		1.5				1.4	3.6	3.0		1.4						1.2
03-05-11	123		1.6				1.6	3.1			1.4						1.4
12-05-11	132		1.7				1.8	3.0			1.4						1.5
18-05-11	138	2.1					2.1	3.2			1.5						2.0
26-05-11	146						2.2	3.3			1.6						3.5
02-06-11	153		2.5				2.4	3.4		1.8							
09-06-11	160	5.6				5.2	3.2	3.9	3.4	4.2	2.2					3.1	
14-06-11	165	6.1				5.5	3.7	3.9	3.3	5.3	2.3					3.6	
22-06-11	173	8.0				8.2	5.0	4.4	3.8		2.3					3.9	
28-06-11	179	8.8				9.0	6.5	4.5	4.9		1.7					4.4	
06-07-11	187	7.1	8.0			7.7	8.1	3.9	5.6		2.1						
14-07-11	195					8.8	9.5	4.2	6.9								
27-07-11	208	7.6				8.0	11.2			6.4						2.6	
03-08-11	215					4.8	9.0	7.0	9.2		2.6						
10-08-11	222								6.0								
25-08-11	227					7.9				10.2						2.5	
31-08-11	243	3.9	11.0			4.0	11.0	9.1	13.1	7.2	6.5						
08-09-11	251	3.2				3.9	8.2		9.1							2.3	6.9

Anejo 2. Año 2011. Valores medidos de CEss en los distintos tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo (G y LG), profundidades de suelo (20 y 40 cm) y bloques (1 a 4).

Desnudo-2011		Bloque 1				Bloque 2				Bloque 3				Bloque 4			
Fecha de muestreo	Día Juliano	G-20	G-40	LG-20	LG-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40
18-03-11	77	1.4	1.4	3.1	4.6			4.2		2.0		8.7			1.4	2.1	5.1
23-03-11	82	1.4	1.3	3.5	4.5			4.6		2.0				1.4		2.3	4.9
01-04-11	91	1.4	1.4	3.2	4.2			3.4		1.6		8.1			1.3	1.6	4.6
06-04-11	96	1.3	1.3	2.7	3.7			2.9	2.2	1.5		7.6			1.1	1.2	4.3
13-04-11	103	1.4	1.3	3.3	2.3			2.3	2.2	1.8		6.6			1.2	1.1	3.9
20-04-11	110		1.4	2.0	3.0			2.5	2.4	2.2		5.5			1.2	1.1	3.8
27-04-11	117		1.4	1.6	1.9			1.7	2.0	1.6		3.2			1.2	1.2	2.8
03-05-11	123		1.5	1.6	1.8		3.1	1.7	2.2	2.0		3.3			1.4	1.4	2.9
12-05-11	132		1.6	1.7	1.9		3.1	1.5	2.8	2.9		3.6			1.5	1.6	2.9
18-05-11	138		1.8	1.8	1.9				3.5						1.9	1.8	3.2
26-05-11	146		1.9	1.9	1.9	1.7			5.1					1.4		1.5	3.9
02-06-11	153		2.0	1.9	2.2				5.7						1.6	1.8	4.5
09-06-11	160	2.7	2.4	2.1	2.5	3.4	5.0		6.2					2.7	2.0	1.6	4.9
14-06-11	165	3.2	2.4	1.7	2.4	2.6	5.6		7.1					3.1	1.9	1.7	5.7
22-06-11	173			2.3		3.4	8.8	2.1	4.9					3.4	2.2	1.9	6.9
28-06-11	179	4.8		2.2	1.9	1.9	8.1	2.0	2.6			4.9		4.2	2.3	1.9	2.2
06-07-11	187	4.6		2.2	2.5	1.9	7.7	2.0	3.6					4.2	2.1	1.7	4.7
14-07-11	195	4.4		2.4	2.6			3.1									
27-07-11	208	3.5				2.7		4.8		10.2				3.9	1.7	2.2	
03-08-11	215	2.8		2.3	1.6	3.8	10.0	4.5						3.0	2.3	2.1	10.0
10-08-11	222			2.4											3.0		
25-08-11	227	4.6				4.9		11.6		10.5							
31-08-11	243	2.5		2.8	9.7	3.0	16.1	6.5	12.4	6.0		11.7					
08-09-11	251	2.4		2.3	7.9	3.6	12.9	5.0	10.2					3.1	1.8	1.8	13.9

Anejo 2. Año 2011. Valores medidos de CEss en los distintos tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo (G y LG), profundidades de suelo (20 y 40 cm) y bloques (1 a 4).

Corteza-2011		Bloque 1				Bloque 2				Bloque 3				Bloque 4			
Fecha de muestreo	Día Juliano	G-20	G-40	LG-20	LG-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40
18-03-11	77	1.4	1.5	4.7	5.9	1.5					1.8		4.8	1.4			
23-03-11	82	1.4	1.5	4.7	5.6	1.5	2.1				1.9		4.5	1.4			
01-04-11	91	1.4		3.9	5.0	1.3	1.7				2.2		4.8	1.4		5.0	
06-04-11	96	1.2	1.3	3.0	4.5	1.2	1.6	5.1			2.0		4.9	1.1		4.5	
13-04-11	103	1.2		2.2	1.3	1.4	1.5	4.1			1.7		4.8	1.1		4.0	
20-04-11	110	1.2	1.2	1.9	3.4	1.8	1.4	3.5			1.4		4.4	1.3		3.5	
27-04-11	117	1.2	1.3	1.5	2.3	1.1	1.4	2.7			1.5		3.5	1.2		2.3	
03-05-11	123	1.3	1.3	1.6	2.1	2.3		2.6			1.6		3.4	1.4		2.4	
12-05-11	132	1.5	1.7	1.5	1.9	2.6	1.4	2.4			1.8		3.5	1.6		2.6	
18-05-11	138	1.7	2.3	1.6	1.6	5.3	1.8	2.4			1.9	4.9	3.7	2.1		2.9	
26-05-11	146	1.7		1.8	1.4			2.7			2.4	2.6	4.1				
02-06-11	153	1.8	4.7	1.6	1.5	6.1	1.1	2.7			2.9	4.0	4.5	1.8		4.6	
09-06-11	160	1.8	6.1	2.1	0.3			2.9		4.4	3.6	4.7	4.8	1.8			
14-06-11	165	1.8	6.5	2.3	1.5	8.2		2.9		4.3	4.0		5.2	1.8		2.8	
22-06-11	173	2.5	8.3	2.6	1.6					5.1				2.0			
28-06-11	179	2.5	9.5	1.8	1.5	7.8		2.5		6.0	7.2	4.3	6.9	2.4			
06-07-11	187	2.3	9.9	2.3	1.5	9.6		3.3		5.6	8.5	4.0	7.9	2.3			
14-07-11	195	2.8														2.3	
27-07-11	208	2.0								3.1				1.9			
03-08-11	215	2.8	5.5	3.8	7.7						5.5	7.1					
10-08-11	222	3.1		2.2	9.1												
25-08-11	227	1.6			10.5	8.6				3.6				1.6			
31-08-11	243	1.9	13.1	5.4	11.9	5.3		10.7		2.4	6.7	7.6		1.7			
08-09-11	251	1.8	9.3	4.3	11.3	6.5		8.4		1.4	5.2	6.2		1.8			

Anejo 2. Año 2011. Valores medidos de CEss en los distintos tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo (G y LG), profundidades de suelo (20 y 40 cm) y bloques (1 a 4).

Plástico-2011		Bloque 1				Bloque 2				Bloque 3				Bloque 4			
Fecha de muestreo	Día Juliano	G-20	G-40	LG-20	LG-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40
18-03-11	77			1.1	0.6			1.9	2.1	1.4	1.4						
23-03-11	82			1.0	0.5			1.7	2.4	1.3	1.4						
01-04-11	91		1.4	1.0	0.6			1.6	1.7	1.3							
06-04-11	96		1.2	1.1	0.6			1.3	1.5	1.2	1.2						
13-04-11	103		1.1	3.9	0.7			1.2	1.5	1.4	1.3						
20-04-11	110		1.1		0.8			1.3	1.5	1.4	1.3						
27-04-11	117		1.0	1.1	0.7			1.3		1.3	1.2		4.2				
03-05-11	123	1.2			1.8			1.3	1.3	1.7	1.5						
12-05-11	132		1.3		0.8			1.5	1.3	2.2	2.0						
18-05-11	138		1.4		0.9			1.6	1.4		2.6						
26-05-11	146		1.4			1.4		1.6			2.2						
02-06-11	153		1.4			1.7		1.7		3.6							
09-06-11	160	3.7	1.4			2.0		1.6	2.4	3.0	2.7		3.7		6.0		
14-06-11	165	4.0	1.6			2.2		1.7	2.6	2.5	2.1		4.1		5.5		
22-06-11	173	4.9	1.7			2.2				3.7			4.6		6.0		
28-06-11	179	4.4	1.6			2.5		1.9		4.7	3.3		3.9		3.0		
06-07-11	187	2.9	1.7			2.4		2.1		4.8	2.1				7.9		
14-07-11	195	2.4				2.6											
27-07-11	208	1.8	1.8			1.9				5.0					6.2		
03-08-11	215	1.9	2.2			2.4				4.8	3.3				3.2		
10-08-11	222	1.7	2.1			2.0											
25-08-11	227	1.6				1.8				5.8							
31-08-11	243	1.7	2.4			1.9				4.3	3.9				4.4		
08-09-11	251	1.8	2.3			1.8				4.3	3.9				2.6		

Anejo 3. Año 2012. Valores medidos de CEss en los distintos tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo (LA, G y LG), profundidades de suelo (20 y 40 cm) y bloques (1 a 4).

Geotextil-2012		Bloque 1						Bloque 2						Bloque 3						Bloque 4					
Fecha de muestreo	Día Juliano	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40
22-03-12	82		10.3	2.3	2.2	9.4	6.4		14.5	2.2	3.1	5.5	3.5		10.0	2.4	3.9	6.1	11.5	9.9	10.9	2.1	1.9	2.4	2.6
04-04-12	95		11.7	1.7	1.9	11.9	5.9	14.2	15.6	1.7	2.2	3.5	2.7	12.8	10.6	1.8	2.4	4.3	7.8	11.4	10.9	2.0	1.7	2.0	2.0
25-04-12	116		11.0	1.8	1.7	10.7	4.1	13.1	14.7	1.9	1.8	2.2	2.1	10.5	10.1	1.7	1.9	3.0	5.3	11.0	9.4	2.2	1.6	2.0	1.8
15-05-12	136		10.8	3.1	2.0	9.8	3.9	12.3	14.4	3.8	2.3	2.1	2.1	8.9	10.1	2.7	2.5	2.7	4.8	10.6	9.1				
29-05-12	150		10.7	4.3	2.8	9.3	4.3			6.5				7.2	9.6	4.0		2.8				3.9		5.3	
14-06-12	166		10.7	3.8	3.5	7.9	5.0	12.6		6.1	5.3	2.2	3.6	7.2	9.7	3.5		2.5	5.0				6.6	5.4	7.4
28-06-12	180		10.3	3.7	3.1	4.7	5.8	12.8	13.8	5.2	5.3	1.8	5.1	7.5	9.9	3.1		2.2	4.3	12.1	11.1			4.0	8.0
13-07-12	195	11.1	10.6	4.9		3.5	6.5	12.7	13.7	7.1	5.5	1.9	5.9	7.6	9.6	4.1		2.4	4.2					5.3	10.3
24-07-12	206	10.2	10.9	4.8	4.7	3.3	6.9	12.9	13.3	6.3	5.5	2.1	6.7	7.8	9.6	3.9		2.7	4.2		10.8		9.7	4.4	11.4
09-08-12	222	7.5	8.1	5.0	4.7	3.4	6.8	12.7	13.0	7.4	6.8	2.1	8.3	7.1	9.6	4.3		2.7			10.5		8.7	5.1	11.8
23-08-12	236			8.1	7.3					6.4	10.8				10.0	4.8		3.4					9.4	4.8	14.5
13-09-12	257		9.0	5.5	6.2		7.5		13.1	5.5	10.4			8.2	9.8	4.2		4.3	6.0		11.1		6.1	3.4	8.4

Anejo 3. Año 2012. Valores medidos de CEss en los distintos tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo (LA, G y LG), profundidades de suelo (20 y 40 cm) y bloques (1 a 4).

Desnudo-2012		Bloque 1						Bloque 2						Bloque 3						Bloque 4									
Fecha de muestreo	Día Juliano	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40				
22-03-12	82	10.8	11.7	1.7	2.8	3.6	6.1		9.3	1.7	4.7	5.5	12.5													3.3	3.7	2.0	9.0
04-04-12	95	14.4	13.1	1.8	2.2	2.6	4.1		10.6	1.6	3.9	5.6	12.4	18.6	16.3	2.0	5.3	3.7	2.6	13.3	9.9	2.0	2.8	1.6	7.0				
25-04-12	116	14.0	11.9	1.8	1.9	2.0	2.4	13.9	10.3	1.9	3.4	5.1	6.4	17.1	15.1	1.9	2.2	3.3	4.2	11.1	9.4	1.8	2.3	1.8	4.9				
15-05-12	136		11.4	2.4	2.1	2.4	2.2		10.7				5.8	16.0	14.1		2.5	3.9	3.8	10.3	9.2	2.2	3.8	3.3	3.9				
29-05-12	150	9.9	11.1	3.5	2.8	3.1	2.5	8.4	11.1						14.2	5.5					9.3	3.3	5.7	3.6					
14-06-12	166		10.7	3.2	4.7	2.5			11.5	8.8					14.8		5.4	4.7	4.9	8.1	9.2	2.5	5.8	2.4	2.9				
28-06-12	180	13.8	10.5	2.8	4.5	1.9		12.5	11.9	7.4	9.8		9.3	16.3	14.1	5.1	7.2	3.4		7.6	9.1	2.2	4.9	2.6	2.4				
13-07-12	195	13.4	10.3	3.0	4.7	2.2			12.1	9.1						8.7		4.3		8.0	9.0	3.1	6.0	3.4	2.6				
24-07-12	206	13.1	10.1	3.2	5.4	2.2				8.8						6.7	9.9	4.1			8.9	3.2	5.4	2.3	2.4				
09-08-12	222	11.7	9.7	3.5	5.5	2.5										7.8					8.7	3.5	4.6	2.4	2.4				
23-08-12	236		9.5	5.3	6.2	4.0	3.4			13.7						10.5		9.9			8.9	4.7	7.1	2.2	3.2				
13-09-12	257	11.9	8.9	3.6	5.9	4.7	2.4									6.8					8.8	3.6	4.7	3.0	2.5				

Anejo 3. Año 2012. Valores medidos de CEss en los distintos tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo (LA, G y LG), profundidades de suelo (20 y 40 cm) y bloques (1 a 4).

Corteza de pino-2012		Bloque 1						Bloque 2						Bloque 3						Bloque 4					
Fecha de muestreo	Día Juliano	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40
22-03-12	82	7.7	7.8	1.9	2.2	5.0	4.3		10.9	1.9	2.5	5.1	4.8		15.3	2.4	3.5	8.9	6.0						
04-04-12	95	9.2	8.4	1.7	1.7	4.4	3.5		12.6	1.8	1.8	4.2	3.3	12.2	16.0	1.9	2.3	8.2	4.6	4.9	5.1	1.6	2.4	6.5	3.1
25-04-12	116	8.5	8.4	1.8	1.7	3.9	2.8	10.2	12.4	2.4	1.7	5.8	2.4	10.8	15.3	1.9	2.1	8.4	4.4	5.0	3.3	2.0	2.4		
15-05-12	136	7.7	8.6	3.6	3.0	4.0	3.2		12.2	4.5	2.5	5.3	2.3	10.1		3.1	3.0	7.0	4.6	4.9	3.0	3.7	4.4		
29-05-12	150	7.7	8.8	3.6	4.5	4.8	4.0		12.3	7.6	1.9	5.7	2.5	10.2		3.5	4.2	6.4	5.5	4.3	3.2	2.6	6.3		
14-06-12	166	8.1	8.9	2.5	6.2	4.3	6.0		12.4	6.9	5.4	5.9	3.6	10.6	15.1	2.4	3.8	5.3	6.3	3.8	3.6	1.9	7.5	3.7	
28-06-12	180	8.0	7.2	2.4	5.9	3.8	6.2	11.2	12.5	6.3	5.7	3.9	4.2	11.1	15.2	2.1	3.4	4.5	6.2	3.5	3.5	2.2	8.9	2.1	3.7
13-07-12	195	8.0	6.8	3.2	7.7	4.0	7.0		12.4	8.7	6.6	4.4	4.4	11.5	14.7	2.4	4.3	5.3	6.7	3.4	3.6	2.5	10.2	2.0	4.1
24-07-12	206	8.1	6.7	2.6	8.3	3.8	6.5		12.3	7.5	7.5	4.2	5.2	12.3	14.5	2.2	4.0	4.2	7.8	3.1	3.3	1.9	10.7	1.9	4.2
09-08-12	222	6.5	6.3	1.8	7.3	3.7	4.8	8.5	11.3	8.4	8.0	4.2	5.6	10.3	14.4	2.2	4.5	4.4	7.9	2.7	3.2	2.2	10.6	1.9	3.8
23-08-12	236		6.2	1.6	9.2	4.7	6.4			10.0	9.9	7.7	6.7			1.9	5.5		9.3	2.6	4.3	1.9	12.2	3.5	5.9
13-09-12	257	6.4	6.1	2.2	6.5	3.8	5.5		11.1	7.3	7.8		7.0		14.9	2.3	4.0		10.2	2.6	4.4	2.6	9.6	3.0	4.8

Anejo 3. Año 2012. Valores medidos de CEss en los distintos tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo (LA, G y LG), profundidades de suelo (20 y 40 cm) y bloques (1 a 4).

Plástico - 2012		Bloque 1						Bloque 2						Bloque 3						Bloque 4					
Fecha de muestreo	Día Juliano	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40	LA-20	LA-40	G-20	G-40	LG-20	LG-40
22-03-12	82	9.8	6.7	1.5	1.7	3.4	2.3	11.6	12.6	1.8	1.7	3.5	2.7			1.8	3.4	10.9			13.1				10.3
04-04-12	95	9.7	6.1	1.5	1.6	2.1	2.0	12.1	13.7	1.7	1.8	2.9	2.4	14.7	12.7	1.6	2.3	8.8		15.6	14.2	2.0		4.1	8.7
25-04-12	116	8.7	5.6	1.7	1.7	1.9	1.9	7.4	13.0	2.0	1.9	2.4	1.5	13.8		2.2	2.1	5.7	8.2	13.8	13.0	1.6		2.6	7.0
15-05-12	136		6.0	3.0	3.0			4.6	12.8		2.8		1.4	13.5		4.3	3.7	4.9		12.7	12.4	2.7		2.9	5.7
29-05-12	150	6.7	7.0	2.8	5.2			4.3	12.6	4.3				13.7		5.4	5.3	5.0		12.7	13.0	3.1		3.9	5.7
14-06-12	166	4.5	7.9	2.2	5.8	4.2	8.5		12.6	1.4	6.2			13.9	12.3	4.5	6.2	4.1	7.1	13.0	12.4	1.8		2.5	6.0
28-06-12	180	1.5	7.8	2.1	5.1		3.7	6.5	12.5	2.7	8.7			14.3	12.5	4.3	6.7	3.5	6.8						
13-07-12	195	2.1	7.6	2.2	5.7	4.3	9.9	7.6	12.5	4.2	10.2			13.8	12.2	5.5	7.0	3.2		12.7	11.2	2.7		2.5	5.8
24-07-12	206	2.6	7.4	1.9	5.8	3.9	10.9	8.8	12.6	3.9	11.2			13.8	12.1	4.1	7.2	2.9	4.2	12.5	11.0	2.0		2.1	6.8
09-08-12	222	2.4	7.1	1.9	6.4	3.4	11.6	8.9	13.2	2.5	11.7			13.5	12.2	6.1	8.1	3.5	3.3		10.8	1.9		2.4	6.7
23-08-12	236	2.7	7.6	1.7	7.1		13.3			2.5	14.7			14.3	12.8	3.7	9.2	6.6	4.5			1.5		3.3	
13-09-12	257		7.3	2.1	5.0		11.3		14.3	2.9	12.4			14.3	12.3	5.1	6.8	7.6	4.6		11.6	1.9		2.9	9.4

Anejo 4. Año 2010. Ecuaciones polinomiales de ajuste de la CEss medida (y) frente al año juliano acumulado (x) para los distintos tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo y profundidades de suelo.

Tratamiento	Posición	Ecuación	R ²
Desnudo	LA 20 cm	$y = -2E-09x^6 + 1E-06x^5 - 3E-3x^4 + 0.041x^3 - 2.88x^2 + 104.15x - 1529.1$	0.15*
	LA 40 cm	$y = -8E-08x^5 + 5E-05x^4 - 0.01x^3 + 1.20x^2 - 64.34x + 1351.2$	0.11ns
	G 20 cm	$y = -3E-08x^3 + 6E-05x^2 - 4E-3x + 1.79$	0.15*
	G 40 cm	$y = 3E-08x^4 - 2E-05x^3 + 6E-3x^2 - 0.64x + 26.71$	0.16*
	LG 20 cm	$y = -8E-09x^4 + 2E-06x^3 + 5E4x^2 - 0.15x + 12.89$	0.09ns
	LG 40 cm	$y = -5E-08x^4 + 3E-05x^3 - 7E-3x^2 + 0.58x - 12.25$	0.27**
Geotextil	LA 20 cm	$y = -1E-4x^3 + 0.06x^2 - 6.50x + 258.67$	0.73**
	LA 40 cm	$y = 2E-06x^4 - 1E-3x^3 + 0.27x^2 - 23.70x + 757.78$	0.78**
	G 20 cm	$y = 3E-05x^2 - 7E-3x + 2.15$	0.07ns
	G 40 cm	$y = 2E-05x^2 + 6E-3x + 0.8$	0.51**
	LG 20 cm	$y = -1E-08x^4 + 3E-07x^3 + 2E-3x^2 - 0.47x + 30.66$	0.28**
	LG 40 cm	$y = -5E-08x^4 + 3E-05x^3 - 6E-3x^2 + 0.44x - 6.57$	0.41**
Corteza de pino	LA 20 cm	$y = 6E-08x^5 - 4E-05x^4 + 9E-3x^3 - 1.03x^2 + 59.28x - 1342.1$	0.07ns
	LA 40 cm	$y = -2E-06x^4 + 8E-4x^3 - 0.1439x^2 + 11.41x - 323.35$	0.0ns
	G 20 cm	$y = -1E-06x^3 + 7E-4x^2 - 0.11x + 7.09$	0.05ns
	G 40 cm	$y = -4E-10x^5 + 3E-07x^4 - 1E-4x^3 + 0.01x^2 - 1.10x + 33.76$	0.42**
	LG 20 cm	$y = 2E-07x^4 - 1E4x^3 + 0.03x^2 - 3.20x + 117.87$	0.31**
	LG 40 cm	$y = -4E-08x^4 + 2E-05x^3 - 4E-3x^2 + 0.23x + 2.80$	0.17*
Plástico	LA 20 cm	$y = -1E-06x^4 + 6E-4x^3 - 0.11x^2 + 8.20x - 229.41$	0.11ns
	LA 40 cm	$y = -4E-08x^5 + 2E-05x^4 - 4E-3x^3 + 0.38x^2 - 17.07x + 276.67$	0.28*
	G 20 cm	$y = 6E-07x^3 - 3E-4x^2 + 0.04x - 0.88$	0.33**
	G 40 cm	$y = -3E-07x^3 + 3E-4x^2 - 0.06x + 4.78$	0.47**
	LG 20 cm	$y = -2E-08x^4 + 1E-05x^3 - 1E-3x^2 + 0.03x + 6.88$	0.36**
	LG 40 cm	$y = -6E-10x^5 + 4E-07x^4 - 1E-3x^3 + 0.01x^2 - 0.65x + 16.64$	0.13ns

Anejo 5. Año 2010. Ecuaciones polinomiales de ajuste de la CEss medida a 20 y 40 cm de profundidad del suelo (y) frente al año juliano acumulado (x) para los distintos tratamientos de acolchado y posiciones de muestreo.

Tratamiento	Posición	Ecuación	R ²
Desnudo	LA (20 + 40 cm)	$y = -7E-10x^6 + 4E-07x^5 - 6E-05x^4 + 4E-3x^3 + 0.09x^2 - 22.47x + 719.08$	0.10**
	G (20 + 40 cm)	$y = -7E-07x^3 + 4E4x^2 - 0.06x + 4.49$	0.14**
	LG (20 + 40 cm)	$y = 1E-10x^5 - 1E-07x^4 + 6E-05x^3 - 0.01x^2 + 0.73x - 15.69$	0.15**
Geotextil	LA (20 + 40 cm)	$y = -4E-08x^5 + 2E-05x^4 - 6E-3x^3 + 0.74x^2 - 44.80x + 1081.1$	0.02 ^{ns}
	G (20 + 40 cm)	$y = -5E-07x^3 + 3E-4x^2 - 0.048x + 3.94$	0.22**
	LG (20 + 40 cm)	$y = -5E-08x^4 + 3E-05x^3 - 0.0052x^2 + 0.30x + 1.06$	0.28**
Corteza de pino	LA (20 + 40 cm)	$y = 5E-08x^5 - 3E-05x^4 + 7E3x^3 - 0.84x^2 + 50.16x - 1171.6$	0.0 ^{ns}
	G (20 + 40 cm)	$y = -1E-06x^3 + 7E-4x^2 - 0.12x + 7.70$	0.18**
	LG (20 + 40 cm)	$y = 1E-07x^4 - 8E-05x^3 + 0.02x^2 - 2.10x + 82.04$	0.16**
Plástico	LA (20 + 40 cm)	$y = 6E-10x^5 - 2E-06x^4 + 1E-3x^3 - 0.167x^2 + 12.81x - 358.83$	0.02 ^{ns}
	G (20 + 40 cm)	$y = 3E-07x^3 - 8E-05x^2 + 5E-3x + 1.40$	0.33**
	LG (20 + 40 cm)	$y = -7E-10x^5 + 6E-07x^4 - 2E-4x^3 + 0.02x^2 - 1.57x + 46.10$	0.17**

Anejo 6. Año 2010. Ecuaciones polinomiales de ajuste de la CEss medida en G y LG a 20 y 40 cm de profundidad del suelo (y) frente al año juliano acumulado (x) para los distintos tratamientos de acolchado.

Tratamiento	Posición	Ecuación	R ²
Desnudo	LG + G (20 + 40 cm)	$y = -2E-12x^6 + 2E-09x^5 - 8E-07x^4 + 2E-4x^3 - 0.03x^2 + 1.60x - 37.07$	0.09**
Geotextil	LG + G (20 + 40 cm)	$y = 8E-12x^6 - 7E-09x^5 + 3E-06x^4 - 5E-4x^3 + 0.047x^2 - 2.46x + 57.63$	0.13**
Corteza de pino	LG + G (20 + 40 cm)	$y = 1E-12x^6 - 6E-10x^5 + 2E-08x^4 + 3E-05x^3 - 0.06x^2 + 0.35x - 2.10$	0.08**
Plástico	LG + G (20 + 40 cm)	$y = 4E-12x^6 - 4E-09x^5 + 2E-06x^4 - 4E-4x^3 + 0.04x^2 - 2.72x + 68.75$	0.11**

Anejo 7. Año 2011. Ecuaciones polinomiales de ajuste de la CEss medida (y) frente al año juliano acumulado (x) para los distintos tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo y profundidades de suelo.

Tratamiento	Posición	Ecuación	R ²
Desnudo	G 20 cm	$y = -9E-10x^5 + 7E-07x^4 - 2E-3x^3 + 0.03x^2 - 1.97x + 54.73$	0.432**
	G 40 cm	$y = 3E-3x^2 - 0.04x + 2.70$	0.423**
	LG 20 cm	$y = -6E-11x^6 + 6E-08x^5 - 2E-05x^4 + 4E-3x^3 - 0.47x^2 + 26.25x - 581.76$	0.349**
	LG 40 cm	$y = -7E-11x^6 + 7E-08x^5 - 3E-05x^4 + 5E-3x^3 - 0.58x^2 + 32.32x - 709.25$	0.698**
Geotextil	G 20 cm	$y = -1E-05x^3 + 6E-3x^2 - 0.73x + 31.86$	0.712**
	G 40 cm	$y = 2E-11x^6 - 2E-08x^5 + 6E-06x^4 - 10E-3x^3 + 0.13x^2 - 7.11x + 156.78$	0.743**
	LG 20 cm	$y = -4E-08x^4 + 2E-05x^3 - 4E-3x^2 + 0.24x + 1.4$	0.239*
	LG 40 cm	$y = -9E-08x^4 + 5E-05x^3 - 0.01x^2 + 1.013x - 31.01$	0.82**
Corteza de pino	G 20 cm	$y = -2E-11x^6 + 2E-08x^5 - 6E-06x^4 + 10E-3x^3 - 0.14x^2 + 8.02x - 178.93$	0.278**
	G 40 cm	$y = 3E-09x^5 - 2E-06x^4 + 7E-4x^3 - 0.11x^2 + 7.29x - 188.09$	0.781**
	LG 20 cm	$y = -5E-11x^6 + 5E-08x^5 - 2E-05x^4 + 4E-4x^3 - 0.42x^2 + 23.53x - 526.54$	0.594**
	LG 40 cm	$y = -7E-08x^4 + 4E-05x^3 - 9E-3x^2 + 0.71x - 13.53$	0.729**
Plástico	G 20 cm	$y = 5E-10x^5 - 3E-07x^4 + 9E-05x^3 - 0.01x^2 + 0.59x - 9.65$	0.294**
	G 40 cm	$y = -1E-11x^6 + 1E-08x^5 - 5E-06x^4 + 10E-3x^3 - 0.13x^2 + 7.25x - 165.32$	0.311**
	LG 20 cm	$y = 1E-05x^3 - 5E-3x^2 + 0.52x - 17.93$	0.638**
	LG 40 cm	$y = 5E-4x^2 - 0.11x + 6.75$	0.54**

Anejo 8. Año 2011. Ecuaciones polinomiales de ajuste de la CEss medida a 20 y 40 cm de profundidad del suelo (y) frente al año juliano acumulado (x) para los distintos tratamientos de acolchado y posiciones de muestreo.

Tratamiento	Posición	Ecuación	R ²
Desnudo	G (20 + 40 cm)	$y = -3E-11x^6 + 3E-08x^5 - 1E-05x^4 + 2E-3x^3 - 0.23x^2 + 13.14x - 294.73$	0.328**
	LG (20 + 40 cm)	$y = -5E-11x^6 + 5E-08x^5 - 2E-05x^4 + 4E-3x^3 - 0.46x^2 + 25.97x - 578.73$	0.373**
Geotextil	G (20 + 40 cm)	$y = -2E-11x^6 + 2E-08x^5 - 7E-06x^4 + 2E-3x^3 - 0.19x^2 + 11.57x - 276.34$	0.655**
	LG (20 + 40 cm)	$y = -4E-11x^6 + 4E-08x^5 - 2E-05x^4 + 3E-3x^3 - 0.3584x^2 + 20.15x - 449.24$	0.454**
Corteza de pino	G (20 + 40 cm)	$y = -2E-11x^6 + 3E-08x^5 - 1E-05x^4 + 2E-3x^3 - 0.26x^2 + 15.47x - 360.2$	0.372**
	LG (20 + 40 cm)	$y = -4E-11x^6 + 4E-08x^5 - 2E-05x^4 + 3E-3x^3 - 0.32x^2 + 18.09x - 397.17$	0.566**
Plástico	G (20 + 40 cm)	$y = -1E-11x^6 + 1E-08x^5 - 5E-06x^4 + 1E-3x^3 - 0.13x^2 + 7.69x - 176.68$	0.300**
	LG (20 + 40 cm)	$y = -1E-08x^5 + 7E-06x^4 - 2E-3x^3 + 0.22x^2 - 13.24x + 307.3$	0.251 ^{ns}

Anejo 9. Año 2011. Ecuaciones polinomiales de ajuste de la CEss medida en G y LG a 20 y 40 cm de profundidad del suelo (y) frente al año juliano acumulado (x) para los distintos tratamientos de acolchado.

Tratamiento	Posición	Ecuación	R ²
Desnudo	LG + G (20 + 40 cm)	$y = -5E-11x^6 + 5E-08x^5 - 2E-05x^4 + 0.0035x^3 - 0.3803x^2 + 21.193x - 470.16$	0.279**
Geotextil	LG + G (20 + 40 cm)	$y = -2E-11x^6 + 2E-08x^5 - 1E-05x^4 + 2E-3x^3 - 0.25x^2 + 15.07x - 353.47$	0.524**
Corteza de pino	LG + G (20 + 40 cm)	$y = -3E-11x^6 + 3E-08x^5 - 1E-05x^4 + 2E-3x^3 - 0.27x^2 + 15.90x - 365.52$	0.271**
Plástico	LG + G (20 + 40 cm)	$y = -8E-12x^6 + 8E-09x^5 - 4E-06x^4 + 8E-4x^3 - 0.09x^2 + 5.45x - 126.84$	0.349**

Anejo 10. Año 2012. Ecuaciones polinomiales de ajuste de la CEss medida (y) frente al año juliano acumulado (x) para los distintos tratamientos de acolchado, posiciones de muestreo y profundidades de suelo.

Tratamiento	Posición	Ecuación	R ²
Desnudo	LA 20 cm	$y = 4E-09x^5 - 4E-06x^4 + 1E-3x^3 - 0.22x^2 + 17.51x - 515.16$	0.323ns
	LA 40 cm	$y = 1E-09x^5 - 1E-06x^4 + 3E-4x^3 - 0.05x^2 + 3.92x - 104.98$	0.249ns
	G 20 cm	$y = -3E-08x^4 + 1E-05x^3 - 0.002x^2 + 0.16x - 1.60$	0.376*
	G 40 cm	$y = -6E-06x^3 + 0.003x^2 - 0.44x + 22.92$	0.500**
	LG 20 cm	$y = -4E-08x^4 + 2E-05x^3 - 5E-3 + 0.52x - 13.62$	0.096ns
	LG 40 cm	$y = 8E-08x^4 - 6E-05x^3 + 0.02x^2 - 1.86x + 83.77$	0.437**
Geotextil	LA 20 cm	$y = -3E4x^2 + 0.10x + 3.14$	0.060ns
	LA 40 cm	$y = -7E-09x^4 + 4E-06x^3 - 9E-4x^2 + 0.07x + 10.35$	0.045ns
	G 20 cm	$y = -1E-09x^5 + 1E-06x^4 - 4E-4x^3 + 0.07x^2 - 5.27x + 157.23$	0.701***
	G 40 cm	$y = -4E-09x^4 - 2E-06x^3 + 2E-3x^2 - 0.33x + 18.22$	0.759***
	LG 20 cm	$y = -2E-11x^6 + 2E-08x^5 - 6E-06x^4 + 1E3x^3 - 0.121x^2 + 6.07x - 112.4$	0.135ns
	LG 40 cm	$y = -3E-09x^5 + 3E-06x^4 - 9E-4x^3 + 0.14x^2 - 10.12x + 291.96$	0.208**
Corteza de pino	LA 20 cm	$y = 3E-09x^5 - 2E-06x^4 + 7E-4x^3 - 0.11x^2 + 8.57x - 241.94$	0.154ns
	LA 40 cm	$y = 3E-09x^5 - 2E-06x^4 + 7E-4x^3 - 0.11x^2 + 7.64x - 194.75$	0.065ns
	G 20 cm	$y = -1E-09x^5 + 1E-06x^4 - 3E-4x^3 + 0.05x^2 - 4.09x + 121.35$	0.115ns
	G 40 cm	$y = 3E-09x^4 - 8E-06x^3 + 4E-3x^2 - 0.48x + 22.70$	0.638***
	LG 20 cm	$y = 2E-06x^3 - 1E-3x^2 + 0.11x + 2.22$	0.296**
	LG 40 cm	$y = 5E-08x^4 - 3E-05x^3 + 0.01x^2 - 1.08x + 47.09$	0.447**
Plástico	LA 20 cm	$y = 2E-08x^4 - 8E-06x^3 + 1E3x^2 - 0.05x + 12.94$	0.095ns
	LA 40 cm	$y = 1E-09x^5 - 8E-07x^4 + 3E-4x^3 - 0.04x^2 + 2.96x - 71.83$	0.012ns
	G 20 cm	$y = 9E-07x^3 - 1E-3x^2 + 0.13x - 5.65$	0.183*
	G 40 cm	$y = 2E-09x^4 - 7E-06x^3 + 3E-3x^2 - 0.45x + 20.47$	0.697**
	LG 20 cm	$y = 7E-08x^4 - 5E-05x^3 + 0.01x^2 - 1.27x + 53.83$	0.172ns
	LG 40 cm	$y = -2E-10x^5 + 2E-07x^4 - 7E-05x^3 + 0.01x^2 - 1.24x + 47.85$	0.204ns

Anejo 11. Año 2012. Ecuaciones polinomiales de ajuste de la CEss medida a 20 y 40 cm de profundidad del suelo (y) frente al año juliano acumulado (x) para los distintos tratamientos de acolchado y posiciones de muestreo.

Tratamiento	Posición	Ecuación	R ²
Desnudo	LA (20 + 40 cm)	$y = 3E-09x^5 - 2E-06x^4 + 08E-4x^3 - 0.13x^2 + 10.49x - 301.71$	0.22*
	G (20 + 40 cm)	$y = -8E-10x^5 + 7E-07x^4 - 2E-4x^3 + 0.04x^2 - 3.18x + 101.63$	0.39**
	LG (20 + 40 cm)	$y = -2E-11x^6 + 2E-08x^5 - 8E-06x^4 + 2E-3x^3 - 0.18x^2 + 9.67x - 198.24$	0.17*
Geotextil	LA (20 + 40 cm)	$y = -5E-05x^2 + 0.01x + 10.21$	0.01ns
	G (20 + 40 cm)	$y = -1E-09x^5 + 1E-06x^4 - 4E-4x^3 + 0.06x^2 - 4.97x + 150.13$	0.68***
	LG (20 + 40 cm)	$y = -1E-09x^5 + 1E-06x^4 - 4E-4x^3 + 0.06x^2 - 4.70x + 147.37$	0.06ns
Corteza de pino	LA (20 + 40 cm)	$y = 3E-09x^5 - 2E-06x^4 + 7E-4x^3 - 0.099x^2 + 7.10x - 183.95$	0.07ns
	G (20 + 40 cm)	$y = 1E-08x^4 - 1E-05x^3 + 4E-3x^2 - 0.41x + 17.36$	0.27**
	LG (20 + 40 cm)	$y = -1E-09x^5 + 9E-07x^4 - 3E-4x^3 + 0.05x^2 - 3.64x + 114.72$	0.08ns
Plástico	LA (20 + 40 cm)	$y = -4E-07x^3 + 3E-4x^2 - 0.08x + 15.92$	0.03ns
	G (20 + 40 cm)	$y = 2E-08x^4 - 2E-05x^3 + 5E-3x^2 - 0.52x + 20.45$	0.25**
	LG (20 + 40 cm)	$y = -6E-10x^5 + 6E-07x^4 - 2E-4x^3 + 0.04x^2 - 3.14x + 105.4$	0.10ns

Anejo 12. Año 2012. Ecuaciones polinomiales de ajuste de la CEss medida en LA, G y LG a 20 y 40 cm de profundidad del suelo (y) frente al año juliano acumulado (x) para los distintos tratamientos de acolchado

Tratamiento	Posición	Ecuación	R ²
Desnudo	LG + G (20 + 40 cm)	$y = 1E-08x^4 - 1E-05x^3 + 0.004x^2 - 0.5437x + 28.102$	0.097ns
Geotextil	LG + G (20 + 40 cm)	$y = -3E-11x^6 + 3E-08x^5 - 1E-05x^4 + 2E-3x^3 - 0.20x^2 + 10.94x - 228.42$	0.208*
Corteza de pino	LG + G (20 + 40 cm)	$y = -1E-11x^6 + 1E-08x^5 - 5E-06x^4 + 9E-4x^3 - 0.09x^2 + 4.66x - 85.43$	0.137*
Plástico	LG + G (20 + 40 cm)	$y = -1E-11x^6 + 1E-08x^5 - 5E-06x^4 + 1E-3x^3 - 0.10x^2 + 5.32x - 106.4$	0.129*