

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



UNIVERSITAT DE VALÈNCIA
REGISTRE GENERAL
ENTRADA

26 MAYO 2003

N.º 64160

HORA 24.51'

OFICINA AUXILIAR NÚM. 14

TESIS DOCTORAL

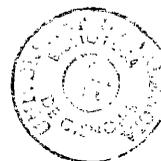
USO DEL MODELO LEACHM PARA LA
EVALUACIÓN DEL RIESGO DE
SALINIZACIÓN EN SUELOS BAJO
RIEGO

TD-B
00706



50001385378
Biblioteca de Ciències

R. 21843



UNIVERSITAT DE VALÈNCIA
BIBLIOTECA CIÈNCIES

Nº Registre 21843

DATA 7-XI-03

SIGNATURA
TD-B 00706

Nº LIBIS: 1385378

30cm.

PRESENTADA POR:

D^a Desamparados Hurtado Soler

DIRIGIDA POR:

Dr. D. Jorge Batlle Sales

VALENCIA, 2003

UMI Number: U607701

All rights reserved

INFORMATION TO ALL USERS

The quality of this reproduction is dependent upon the quality of the copy submitted.

In the unlikely event that the author did not send a complete manuscript and there are missing pages, these will be noted. Also, if material had to be removed, a note will indicate the deletion.



UMI U607701

Published by ProQuest LLC 2014. Copyright in the Dissertation held by the Author.
Microform Edition © ProQuest LLC.

All rights reserved. This work is protected against
unauthorized copying under Title 17, United States Code.



ProQuest LLC
789 East Eisenhower Parkway
P.O. Box 1346
Ann Arbor, MI 48106-1346

TESIS DOCTORAL

USO DEL MODELO LEACHM PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DE SALINIZACIÓN EN SUELOS BAJO RIEGO

**Memoria que para optar al grado de Doctor en
Ciencias Biológicas presenta**

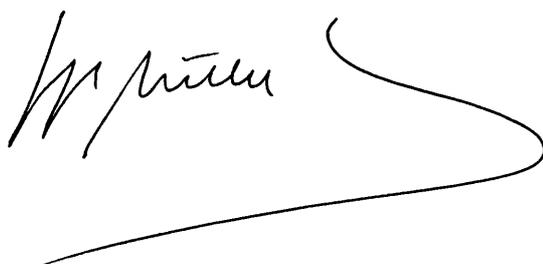
D^a Desamparados Hurtado Soler

D. Jorge Batlle Sales, Profesor Titular del Departamento de Biología Vegetal de la Universitat de València

INFORMA: que D^a Desamparados Hurtado Soler ha realizado bajo su dirección y en este Departamento el trabajo que se presenta con el título: “Uso del modelo LEACHM para la evaluación del riesgo de salinización en suelos bajo riego”.

AUTORIZA: su presentación para optar al grado de Doctor en Ciencias Biológicas.

6 de Mayo de 2003

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. Batlle Sales', with a long, sweeping horizontal flourish extending to the right.

Fdo: Prof. Dr. Jorge Batlle Sales

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento y admiración al Prof. Dr. D. Jorge Batlle Sales por su dedicación, orientación y dirección del presente trabajo y por inspirar con su doctrina mi vocación hacia la ciencia.

A mi amiga y compañera Estrella Batlle Montero por su inestimable ayuda en los análisis del laboratorio y por su inagotable paciencia durante las sesiones de trabajo. Así mismo, agradezco a Miguel López Novella su ayuda y ánimo que de una forma u otra ha facilitado mi labor.

Por último deseo agradecer a mis amigos Isabel y Omar por su ayuda en la revisión del trabajo y a mi familia el apoyo recibido en todo momento.

A mi hijo Salva

“La ciencia es el alma de la prosperidad de las naciones y la fuente de vida de todo progreso”

Louis Pasteur (1822-1885), químico y biólogo francés.

La tesis doctoral presentada por D^a Desamparados Hurtado Soler y dirigida por el Prof. Dr. D. Jorge Batlle Sales se encuadra en el marco del Proyecto de Investigación “An integrated approach for sustainable management of lands susceptible to degradation/desertification”, PL970598 ENV4-CT97-0681 European Commission, Directorate General XII (Science, Research and RTD).

Índice

1. Introducción y objetivos	1
2. Modelos	7
2.1. Concepto y utilidad	9
2.2. Tipos de modelos y selección del modelo	11
2.2.1. Modelos cualitativos/cuantitativos y modelos empíricos/mecanísticos	11
2.2.2. Modelos determinísticos y modelos estocásticos: propagación de errores	15
2.2.3. Selección del modelo	16
2.3. LEACHM	17
2.3.1. Fichero de entrada	20
2.3.2. Estructura del modelo: rutinas y subrutinas	25
2.3.2.1. Inicio de programa	27
▪ Leachc	27
▪ Mainc	27
▪ Readc	27
2.3.2.2. Curvas de retención y conductividad hidráulica no saturada	28
▪ Retfun	28
▪ Retpred	29
▪ Watdat	30
2.3.2.3. Evapotranspiración y cultivos	31
▪ Growth	31
▪ Potet	32
▪ Cult	33
▪ Tstep	33
▪ Etrans	33
▪ Wuptak	35
2.3.2.4. Escorrentía	35
▪ Runoff	35
2.3.2.5. Transporte de solutos	37
▪ Watflo	38
▪ Solc	40

▪ Calfc	44
▪ Cellc	46
▪ Equilibrio químico: Chem-for y Equilchm.for	47
2.3.2.6. Formato de fechas	49
2.3.3. Ficheros de salida	50
2.3.3.1. Fichero detallado (.OUT)	50
2.3.3.2. Fichero resumen (.SUM)	50
2.3.3.3. Fichero del lixiviado (.BTC)	50
2.4. CHEMEQ, WATSUIT y CROPWAT	51
2.4.1. CHEMEQ	51
2.4.2. WATSUIT	51
2.4.3. CROPWAT	54
3. Generalidades del área de estudio	57
3.1. Área de estudio	59
3.1.1. El cultivo de cítricos	61
3.1.2. Los suelos	66
3.1.3. Las aguas subterráneas	68
4. Metodología	71
4.1. Perfiles monitorizados	73
4.1.1. Apertura de perfiles, descripción e instalación de los dispositivos de monitorización	74
4.1.2. Seguimiento de los dispositivos y toma de muestras	74
4.1.2.1. Humedad de campo (TDR)	75
4.1.2.2. Potencial matricial (Tensiómetros)	78
4.1.2.3. Temperatura	78
4.1.2.4. Muestreo de gases	79
4.1.2.5. Muestreo de solución del suelo	79
4.1.2.6. Muestreo de agua freática	79
4.1.2.7. Muestreo de aguas de riego	79
4.1.2.8. Muestreo de suelos	79
4.2. Análisis de laboratorio	79
4.2.1. Análisis de propiedades físicas	79
4.2.1.1. Color	79

4.2.1.2.	Densidad aparente	80
4.2.1.3.	Densidad real	80
4.2.1.4.	Porosidad	80
4.2.1.5.	Humedad de campo	81
4.2.1.6.	Límite plástico	81
4.2.1.7.	Análisis mecánico	81
4.2.1.8.	Curvas de humedad	81
4.2.1.9.	Conductividad hidráulica	84
4.2.2.	Análisis de propiedades químicas y fisico-químicas	84
4.2.2.1.	Extracto de la pasta saturada y extracto 1:5	84
4.2.2.1.1.	Aniones y cationes	84
4.2.2.1.2.	pH	85
4.2.2.1.3.	CE	85
4.2.2.1.4.	RAS y PSI	86
4.2.2.2.	CIC	86
4.2.2.3.	Materia orgánica	86
4.2.2.4.	Carbonatos	86
4.2.2.5.	Yesos	87
4.3.	Datos climáticos	87
4.4.	Modelos: LEACHM, CROPWAT, WATSUIT Y CHEMEQ	88
4.4.1.	LEACHM: Calibración y validación	88
4.4.2.	Análisis de escenarios: metodología	89
5.	Datos de entrada	93
5.1.	Perfiles	95
5.1.1.	Fecha, localización y descripción	95
5.1.2.	Datos físicos, químicos y fisicoquímicos	109
5.1.3.	Datos monitorizados	141
5.2.	Clima: precipitaciones, temperatura y ETo	145
5.2.1.	Datos climáticos	145
5.2.2.	ETo	148
5.2.3.	Precipitaciones y riego	150
5.3.	Aguas	152

6. Resultados	155
6.1. Calibración y validación del LEACHM	157
6.1.1. Calibración	157
6.1.1.1. Curvas de humedad y selección del modelo de retención	159
6.1.1.2. Parámetros calibrados	186
6.1.2. Validación	187
6.1.2.1. Calibración de la TDR	187
6.1.2.2. Theta	188
6.1.2.3. CEe	205
6.1.2.4. RASe	213
6.2. Análisis de escenarios	225
6.2.1. Composición de las mezclas de agua (CHEMEQ)	226
6.2.2. Selección de la fracción de drenaje óptima (WATSUIT)	227
6.2.3. Diseño de riego óptimo (CROPWAT)	250
6.2.4. Predicción del riesgo de salinización (LEACHM)	254
7. Conclusiones y recomendaciones	327
8. Bibliografía	331
9. ANEXO I	
10. ANEXO II	

1. Introducción y objetivos

Entre los diferentes problemas que afectan a la agricultura a nivel mundial, la salinización de los suelos es probablemente uno de los más importantes, debido a su efecto limitante sobre el rendimiento de los cultivos. Así, en los años 70, Kovka y Szabolcs (1979) indicaban que la superficie de suelo agrícola afectada por sales en el mundo ascendía a casi mil millones de ha., y estimaciones efectuadas por Naciones Unidas, FAO y UNESCO concluyeron que más de la mitad de los suelos regados estaban afectados por la salinización y/o alcalinización secundarias (Szabolcs, 1976; 1979). Este problema se incrementa en las regiones con clima árido y semiárido, siendo necesario, el estudio de las propiedades y de los procesos del suelo (Duchaufour, 1987) para gestionar el uso sostenible de los suelos agrícolas (Tanji & Yaron, 1994; Faz et al, 2002).

La salinización secundaria, generalmente producida por el riego con aguas de baja calidad (Ayers & Wescot, 1985; Rhoades et al., 1992), por la fertirrigación (Martínez-Raya et al., 1992), por el ascenso de sales provenientes de las aguas subterráneas y/o por la falta de sistemas de drenaje adecuados, está además conduciendo al abandono progresivo de miles de hectáreas en el mundo anualmente (Aragüés et al., 1986)

La problemática de estos suelos se conoce desde hace más de dos siglos y sus bases conceptuales fueron establecidas a finales del siglo XIX y a principios del XX por Hilgard, De Sigmond, entre otros. No obstante no fue hasta 1954, con la publicación del libro "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils" por el personal del United States Salinity Laboratory de Riverside (U.S. Salinity Laboratory Staff 1954), que se sientan las bases teóricas y prácticas para el diagnóstico y para el asesoramiento acerca de cómo manejar estos suelos (Porta et al., 1999).

La Comunidad Valenciana se localiza al Este de España, con 485 Km de costa a lo largo del Mar Mediterráneo. El clima puede ser descrito como semiárido, decreciendo esta aridez hacia el Norte. Al Sur de la comunidad la precipitación media anual es de 300 mm con dos máximos, uno en otoño y otro al final de la primavera; La temperatura media anual es superior a 18° C con un máximo en Julio y la ETP media está alrededor de 950 mm con un máximo en verano (Batlle-Sales et al., 1997).

La Comunidad Valenciana es el área agrícola más importante de España con gran volumen de importación de su producción al resto de Europa y otros países. En la zona costera se concentra la agricultura intensiva de regadío (cítricos, horticultura, frutales) mientras que las zonas interiores se reservan a los cultivos de secano (almendros, olivos, viñedos, algunos frutales y cereales). El turismo y la industria también concentrada en las áreas costeras compiten por los recursos hídricos con la agricultura (Batlle-Sales et al., 1997).

El aumento de la superficie agrícola, durante las dos últimas décadas, principalmente de producción citrícola, ha duplicado la demanda de agua hasta tres veces provocando la contaminación de las aguas subterráneas por intrusión marina. Esta salinización de los pozos de riego está induciendo una salinización secundaria de los campos de cultivo ocasionando una disminución en la producción de las cosechas (Batlle-Sales, 1997; 1998; 1999; Batlle-Sales et al., 1999; Batlle-Sales et al., 2001).

1. Introducción y objetivos

Todo ello, está conduciendo a políticas de ahorro de agua en la agricultura que implica una mejora sustancial de la eficiencia del riego. Sin embargo algunas prácticas de ahorro de agua pueden comportar un crecimiento potencial de las áreas afectadas por sales debido, por una parte, al efecto del incremento del factor de concentración del agua en el suelo como consecuencia de la evapotranspiración y de la reducción de la fracción de lavado y por otra, a la utilización de aguas de baja calidad.

Existen cuatro aspectos importantes a tener en cuenta en la utilización de aguas de baja calidad para el riego: (1) la selección de cultivos tolerantes y el control de la salinidad del suelo mediante el drenaje; (2) el mantenimiento de las propiedades físicas del suelo para asegurar una adecuada infiltración y permeabilidad según los requerimientos hídricos del cultivo garantizando la aireación de las raíces; (3) la adopción de técnicas adecuadas de riego; y (4) la disponibilidad de métodos adecuados de drenaje (Oster, 1999).

La metodología propuesta por FAO (Doorenbos et al., 1992) utiliza los modelos WATSUIT (Rhoades et al., 1992) y CROPWAT (Clarke et al., 1998) para optimizar la eficiencia del riego evitando la acumulación de sales en la zona radicular. El modelo WATSUIT permite conocer, para diferentes fracciones de drenaje, la concentración y distribución de las sales solubles en la zona radicular a lo largo del tiempo y evaluar su efecto sobre el suelo (disminución de la permeabilidad y encostramiento) y sobre los cultivos (toxicidad de iones y presión osmótica) por comparación con las tablas de tolerancia de cultivos (Maas & Hoffmann, 1977; Maas, 1990) y el diagrama de Wilcox (1948). El modelo CROPWAT es un programa de estimación de las necesidades de riego que permite diseñar estrategias de riego adecuadas al tipo de cultivo teniendo en cuenta el clima y el tipo de suelo.

Esta metodología ha sido ligeramente modificada por Batlle-Sales y Hurtado (2002), con la introducción del modelo de especiación química CHEMEQ (Hutson, 2001) y las ecuaciones de edafotransferencia (Saxton et al., 1986).

El procedimiento de evaluación de escenarios parte del análisis químico de las aguas de riego y los datos de precipitaciones obteniendo las mezclas de agua, por efecto de dilución por la lluvia, con el programa CHEMEQ, estos datos sirven de base para la estimación de la fracción de drenaje óptima para cada tipo de agua con el programa WATSUIT. Finalmente la fracción de drenaje obtenida se utiliza en la evaluación del riego óptimo para cada tipo de cultivo con el modelo CROPWAT.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que estos programas no hacen referencia ni a los procesos de transporte ni a las reacciones químicas que se producen en el suelo, además esta metodología es una aproximación en tendencia de la evolución a largo plazo de los procesos de salinización. y por tanto es necesario utilizar un modelo de investigación para evaluar la información obtenida y predecir los riesgos asociados a cada escenario (Akinremi & McGinn, 1996). Estos modelos requieren de una gran cantidad de datos y tienen en cuenta numerosos parámetros que pueden ajustarse a las condiciones reales mediante un análisis de sensibilidad.

Entre los modelos de investigación destaca el modelo 1D LEACHM (Hutson & Wagenet, 1992), que ha sido validado y calibrado en numerosas ocasiones y cuya aceptación científica se encuentra avalada por más de diez años de desarrollo y utilización como herramienta de diagnóstico. Los datos obtenidos en los perfiles seleccionados pueden ser introducidos en el fichero de entrada junto con otros datos requeridos por el modelo tales como riego y datos climáticos. Los ficheros de entrada se ejecutan para un periodo de tiempo determinado obteniéndose una estimación de los contenidos de humedad y la concentración de sales a distintas profundidades. Modificando los ficheros con los riegos calculados con el programa CROPWAT, para diferentes aguas y mezclas, se pueden establecer diferencias en el comportamiento de cada tipo de suelo y evaluar el riesgo de salinización y/o alcalinización. El procedimiento de calibración, validación y el análisis de escenarios del modelo LEACHM se describe detalladamente en Batlle-Sales (2003).

En la calibración del modelo hay que tener en cuenta todos los parámetros susceptibles de ajuste. Algunos se corresponden con situaciones reales y se ajustan directamente, por ejemplo los parámetros relacionados con los cultivos (Cobertura, resistencia radicular, profundidad relativa de las raíces, factor de cultivo...) y la escorrentía (pendiente y número de curva). Otros, sin embargo son parámetros que deben ser optimizados mediante un análisis de sensibilidad, por ejemplo los modelos de retención y flujo, número de nodos, intervalos de tiempo y la dispersividad.

Para la validación del modelo se deben especificar las fechas de salida correspondientes a las fechas de monitorización estableciendo una comparación entre los datos estimados por el LEACHM y los datos analizados en el perfil, de forma que puedan ajustarse las condiciones de entrada y seleccionar las funciones de edafotransferencia más adecuadas, validando el modelo mediante índices estadísticos (Hagi-Bishow & Bonnell, 2000). Tras la calibración y validación del modelo se procede al análisis de escenarios y a la evaluación del riesgo de salinización.

La predicción sobre la evolución de la salinidad en los campos de cultivo es una herramienta eficaz para el diagnóstico y asesoramiento en el manejo de los suelos y permite elaborar políticas de gestión agroambientales, así como minimizar los riesgos de salinización en zonas con aguas de riego de baja calidad.

OBJETIVOS

- 1.- Calibración y Validación del modelo LEACHM en suelos agrícolas de Torreblanca (Castellón).
- 2.- Propuesta de estrategias de riego adecuadas para el cultivo de cítricos con diferentes tipos de suelos y aguas.
- 3.- Evaluación del riesgo de salinización en suelos con cultivo de cítricos mediante un análisis de escenarios.

2. Modelos

2.1. Concepto y utilidad

Desde el principio, los edafólogos, se han preocupado por organizar las observaciones en modelos. Estos modelos incluyen mapas representativos de la distribución de los suelos, descripciones de suelos, modelos que relacionan los factores medioambientales con la génesis de los suelos y modelos que simulan los procesos de formación de los suelos. El objetivo general de la modelización es organizar la información para mejorar el conocimiento de los suelos y predecir las consecuencias de la actividad humana en ellos.

Tanto Dokuchaev como Hilgard son los pioneros en el desarrollo de modelos proponiendo el primer modelo multifactorial de génesis de suelos. En 1882, Dokuchaev presentó una ecuación que relacionaba el suelo con el clima, la vegetación y organismos, el material geológico y la edad relativa del suelo. En 1941, Jenny publicó otra ecuación en la que añadía el factor topografía, la edad absoluta del suelo y una serie de factores adicionales no especificados. Estos factores no fueron presentados por Jenny como factores formadores de suelos sino como factores que definían el estado del sistema suelo. Posteriormente, en 1961, Jenny amplió la base científica de las ecuaciones de la formación de los suelos usando un sistema de análisis aproximado. Esta aproximación es todavía la base de la mayoría de modelos (Hoosbeek et al., 2000).

Según las definiciones de De Wit (1993), un sistema es una parte de la realidad que contiene elementos interrelacionados. La totalidad de las relaciones entre el sistema es conocido como estructura del sistema; ambos, sistemas y modelos, tienen una estructura. Por tanto, un modelo es la representación simplificada de un sistema.

A la hora de elaborar un modelo se deben seguir los siguientes pasos:

- Definir que parte del ecosistema se incluye en el modelo
- Determinar que variables identifican mejor el sistema
- Determinar que variables actúan sobre el sistema
- Definir los flujos de entrada y salida del sistema
- Establecer los bloques necesarios para la ejecución de los procesos internos del modelo

En los modelos el tiempo en el que se producen los procesos viene determinado por una serie de intervalos definidos, sin embargo en el sistema real el tiempo es continuo. Esta aproximación del modelo interfiere en los resultados de ahí la importancia en la selección del intervalo de tiempo.

El método científico utilizado por la mayoría de edafólogos se basa en siete etapas: (1) identificación del sistema objeto de estudio; (2) medida de las propiedades; (3) ordenación y condensación de los datos; (4) explicación de los datos mediante hipótesis (5) comprobación de las hipótesis por contrastación con nuevos datos; (6) estructuración de las

2. Modelos

hipótesis confirmadas y establecimiento de teorías y (7) utilización de las reglas científicas para la predicción de nuevos fenómenos. Para llegar a esta última etapa es necesario reducir la complejidad del sistema natural a niveles de abstracción adecuados. Esta reducción o simplificación de resultados es un modelo conceptual.

En el suelo los procesos evolucionan de forma continua en las tres direcciones, sin embargo los modelos precisan de unidades discretas abordando el análisis matemático mediante ecuaciones algebraicas. Para ello dividen el suelo en segmentos y ofrecen la información a determinadas profundidades denominadas nodos. La diferencia entre el cálculo diferencial y el cálculo algebraico se encuentra en que el primero ofrece una información más exacta, ya que en el análisis matemático las variables no se sustituyen hasta el final del proceso, sin embargo en las ecuaciones algebraicas se realizan aproximaciones y se sustituyen las variables para simplificar el proceso de forma que los resultados contienen un error intrínseco al tipo de análisis. Los programas informáticos utilizan los procedimientos de análisis algebraicos simplificando los cálculos (Fetter, 1994). Todas estas diferencias en el procedimiento de cálculo así como la simplificación del suelo por los modelos son una fuente de error en los resultados obtenidos.

La utilización de modelos que simulan los procesos del suelo requieren de unos pasos para asegurar su validez (Anderson & Woessner, 1992 modificado por Batlle-Sales, 2003):

- Formular la cuestión científica más relevante y decidir si la utilización de un modelo permite resolverla.
- Conceptualización del caso de estudio en un modelo y selección del código.
- Descripción del sistema suelo en variables de entrada utilizando los datos disponibles o medidos para elaborar un fichero de entrada.
- Calibración del modelo ejecutando numerosos ficheros, mediante la observación de cambios en los ficheros de salida y ajuste de los parámetros del modelo a las condiciones reales.
- Análisis de sensibilidad de los parámetros para evaluar la magnitud de las diferencias de los resultados como consecuencia de pequeñas variaciones en los parámetros de entrada. Este análisis se puede realizar considerando un parámetro cada vez o con análisis multiparamétricos para observar interdependencias.
- Verificación del modelo utilizando los valores medidos en el campo a partir de un juego de datos de inicio y la comparación con los datos reales.
- Análisis de sensibilidad de las predicciones para evaluar el grado de incertidumbre en los resultados.
- Simulación de escenarios. Este aspecto es el más poderoso de la modelización ya que permite evaluar riesgos y ofrece información acerca de la dirección de los procesos y su intensidad.

2.2. Tipos de modelos y selección del modelo

2.2.1. Modelos cualitativos/cuantitativos y modelos empíricos/mecanísticos

A la hora de seleccionar el tipo de modelo a utilizar surgen varias preguntas. La primera sería relativa al sistema que debe representar el modelo. Una situación ideal sería considerar al sistema aislado del resto pero esto no es posible ya que las interacciones entre sistemas son un hecho en la naturaleza. La siguiente cuestión es definir la escala en que trabaja el modelo, así como el grado de complejidad y el tipo de análisis (ver figura. 2.1.)

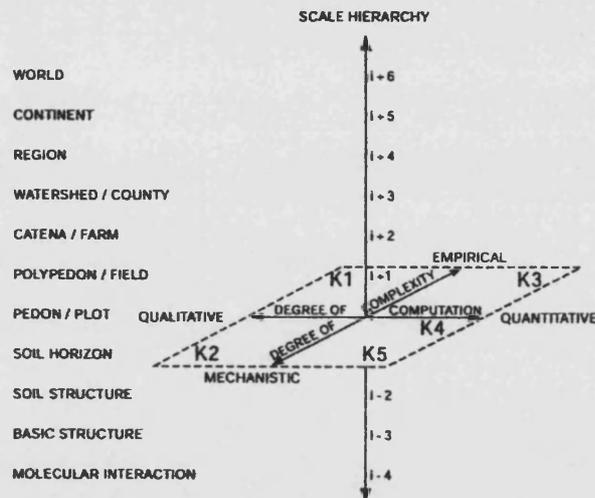


Figura. 2.1. Clasificación de modelos basada en escalas de jerarquía y grado de complejidad (Bouma, 1997)

El eje vertical muestra los diferentes niveles de jerarquía que van desde el nivel molecular hasta el nivel global o mundial. En la parte central se encuentra el pedon que se define como cuerpo natural tridimensional suficientemente extenso como para representar la naturaleza, sus horizontes y variabilidad (Soil Taxonomy, 1998). Cada escala es representativa de la naturaleza y la variabilidad en ese nivel. Por tanto cada sistema debe ser estudiado en la escala que mejor ajuste a los objetivos del estudio adecuando el tamaño de muestreo para que sea estadísticamente representativo. Así mismo el detalle de las determinaciones y su resolución deben corresponderse con la escala escogida.

Por otra parte el plano horizontal se corresponde con el modo de abordar el estudio y el grado de complejidad. Podemos diferenciar dos componentes: el grado de complejidad y el tipo de análisis. Respecto a la forma de analizar las variables del sistema los modelos se distinguen entre modelos cualitativos y modelos cuantitativos. Los primeros describen el sistema a partir de valores que expresan una cualidad del sistema, por tanto los datos no son numéricos y no pueden ser tratados matemáticamente, se trata de modelos descriptivos. Los

2. Modelos

segundos se basan en determinaciones numéricas de las propiedades y por tanto pueden tratarse matemáticamente.

Respecto al grado de complejidad podemos dividir los modelos en empíricos y mecanísticos. Los modelos empíricos se basan en la descripción o análisis de las variables que identifican el sistema mientras que los modelos mecanísticos hacen referencia a los procesos que ocurren en el sistema.

Combinando las diferentes formas de abordar el estudio del sistema suelo podemos distinguir entre varios tipos de modelos. La selección del tipo de modelo dependerá de las características del sistema así como de la capacidad y experiencia del usuario. En la tabla 2.1. se identifican los tipos de modelo y las exigencias en cuanto al nivel de especialización del usuario.

Tabla 2.1. Clasificación de modelos según el tipo de conocimiento (Hoosbeek et al. 2000).

MODELO	TIPO DE CONOCIMIENTO	USUARIO
K1	Cualitativo – empírico	Usuario no experto
K2	Cualitativo - mecanístico	Usuario experto
K3	Cuantitativo – empírico	Especialista en técnicas de análisis de suelos
K4	Cuantitativo – mecanístico/empírico	Especialista en los procesos fundamentales del suelo
K5	Cuantitativo - mecanístico	Especialista en los procesos fundamentales y particulares del suelo

Los mapas de suelos son modelos empíricos cualitativos-cuantitativos que representan la forma en que los suelos se distribuyen en el espacio. A menudo se utilizan indicadores ecológicos, la vegetación y su relación con el suelo, estos indicadores son variables cualitativas y empíricas. En su elaboración no es necesaria la información sobre los procesos del suelo, sin embargo el nivel de información puede ser más o menos cuantitativo llegando a utilizar aproximaciones geoestadísticas (Crosetto et al., 2000).

En el estudio del comportamiento del suelo es necesaria la obtención de datos cuantitativos de las variables que intervienen, así como un conocimiento profundo de los procesos físicos y químicos que se van a producir (Hanks & Ashcroft, 1980; Fassbender, 1982; Scott, 2000), por ello es necesario recurrir a modelos cuantitativos mecanísticos, también denominados modelos de investigación (K5).

Dentro de los modelos cuantitativos podemos distinguir entre modelos analíticos y modelos numéricos. Los modelos analíticos utilizan ecuaciones básicas que se resuelven rápidamente y precisan de una mínima cantidad de datos, mientras que los modelos numéricos requieren de ecuaciones algebraicas y se resuelven mediante aproximaciones numéricas (Fetter, 1994).

Los modelos numéricos diferenciales son modelos conceptuales continuos en los que se conocen las propiedades de algunos puntos del suelo dentro de los límites superior e inferior. Esta continuidad puede ser reemplazada por puntos discretos o nodos (discretización) en los que se resuelven las ecuaciones. El modelo progresa a partir del nodo superior hacia los nodos inferiores. En las situaciones en que las variables cambian en función del tiempo y la profundidad el procedimiento de cálculo es más largo y dependerá del número de nodos y de los intervalos de tiempo definidos (ver figura. 2.2).

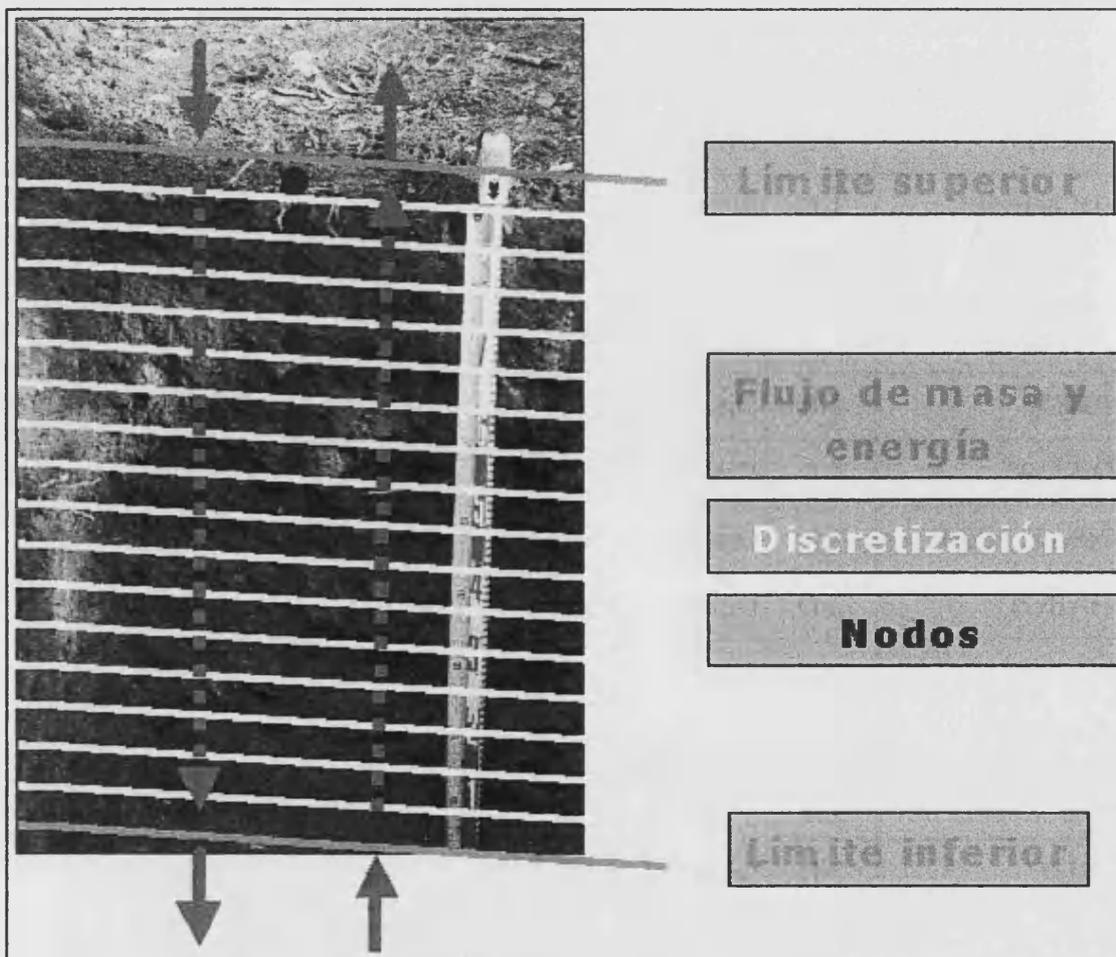


Figura. 2.2. Discretización del suelo para el procedimiento de cálculo en los modelos diferenciales (Batlle-Sales & Hurtado, 2002).

2. Modelos

Las condiciones de los límites superior e inferior son muy importantes a la hora de realizar los cálculos en los nodos y establecer los flujos de masa y energía.

Por otra parte, los modelos numéricos que utilizan elementos finitos ofrecen una alternativa a los modelos diferenciales dividiendo el suelo en polígonos o celdas. Los valores en el interior de las celdas se determinan por interpolación entre los puntos de los nodos. Estos modelos requieren de un número menor de nodos (Fetter, 1994).

En la tabla 2.2. se presentan algunos de los modelos numéricos más aceptados y utilizados por la comunidad científica.

Tabla 2.2. Modelos numéricos.

MODELO	DIM.	MÉTODO NUMÉRICO	AUTORES
HYSWASOR	1-D	Elemento finito	Dirksen et al., 1993
LEACHM	1-D	Diferencia finita	Hutson and Wagenet, 1992
Dual porosity	1-D	Elemento finito	Gerke and Van Genuchten, 1993
WORM	1-D	Elemento finito	Van Genuchten, 1987
HIDRUS	1-D	Elemento finito	Simunek et al. 1998
CFITIM	1-D	Diferencia finita	Van Genuchten, 1981
SOILCO2	1-D	Diferencia finita	Simunek & Suárez, 1993
UNSATCHEM	1-D	Diferencia finita	Suárez & Simunek, 1997
CHAIN2D	2-D	Diferencia finita	Simunek & Van Genuchten, 1994
UNSATCHEM2D	2-D	Elemento finito	Simunek & Suárez, 1993
SWMS2D	2-D	Diferencia finita	Simunek et al, 1992
HIDRUS2D	2-D	Elemento finito	Simunek et al., 1999
VS2DT	2-D	Diferencia finita	Lapalla et al., 1987; Healy, 1990

Los modelos 1-D son los modelos más utilizados y desarrollados. En ellos se asume una única salida como resultado de un conjunto de datos iniciales. Los modelos 2-D tienen en cuenta tanto los procesos verticales como los laterales dificultando el control sobre las variables del sistema y su monitorización.

2.2.2. Modelos determinísticos y modelos estocásticos: propagación de errores

Los modelos empíricos que abordan el estudio del sistema suelo a partir de un único conjunto de datos que define una situación concreta medida en un punto y momento dado se denominan modelos determinísticos. Sin embargo, cuando el estudio del sistema se aborda a partir de valores dentro de un rango que define las variaciones del sistema en el espacio y tiempo, los modelos se denominan estocásticos.

Los modelos estocásticos se basan en la asunción de que los procesos en los sistemas suelo-agua y sus resultados son inciertos y por lo tanto definibles solamente en términos estadísticos. El modelo se ejecuta tomando cada vez un valor dentro de la distribución de la población y se estiman los resultados para cada valor de entrada. De esta forma se obtienen unos intervalos que definen las predicciones de cada variable para todos los casos posibles en la población. En el caso de las distribuciones normales toman la mediana como valor representativo de la población. Desde el punto de vista de la investigación estos modelos no han sido suficientemente validados y calibrados. Por otra parte hay que considerar que la mayoría de las propiedades analizadas corresponden con valores determinísticos ya que son medidos en un punto y momento concreto. No obstante, en el caso de los parámetros que deben optimizarse se podría abordar el estudio mediante modelos estocásticos ya que se trata de variables continuas cuyo valor se desconoce.

En los modelos determinísticos el cálculo progresa basándose en el resultado anteriormente calculado, este valor es un valor fijo que conlleva un error que se transmite al resultado siguiente provocando un incremento del error y una incertidumbre en los resultados finales. En el proceso de validación del modelo se verifica el ajuste de algunos de los resultados estimados respecto a las observaciones realizadas pudiéndose evaluar la eficacia del modelo y acotar el intervalo de error en los resultados (ver figura. 2.3)

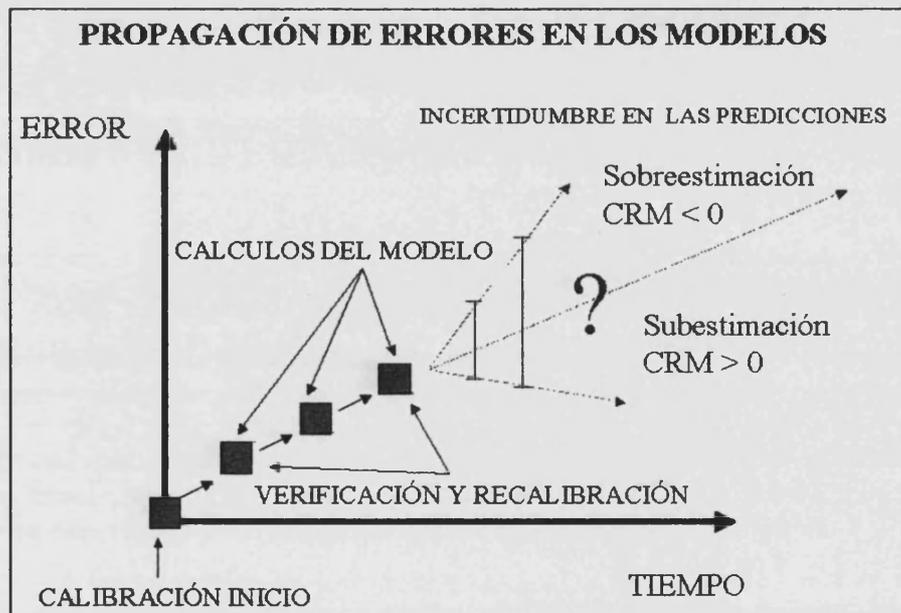


Figura. 2.3. Esquema de la propagación de errores en los modelos

2.2.3. Selección del modelo

El modelo seleccionado ha sido el modelo LEACHM desarrollado por Hutson & Wagenet (1992). El modelo LEACHM considera algunos procesos que suceden en el sistema suelo-planta-atmósfera, destacando los procesos de transporte de agua y solutos, la adsorción iónica, la especiación química y los procesos de transpiración de los cultivos y evaporación. Este modelo ha sido desarrollado durante más de diez años y está ampliamente aceptado y utilizado por la comunidad científica.

La selección del modelo se ha basado en las siguientes características:

- Es un modelo ampliamente aceptado por la comunidad científica que ha sido calibrado y validado en numerosas ocasiones y ha sido el modelo seleccionado en el proyecto en el que se integra esta tesis doctoral siendo uno de los objetivos del mismo el desarrollo de la rutina del bypass-flow.
- Utiliza la ecuación de Richards para el transporte de agua y la ecuación de convección-dispersión para el transporte de solutos utilizando el cálculo numérico diferencial mediante aproximaciones algebraicas.
- Se trata de un código abierto que permite introducir modificaciones en las ecuaciones y rutinas calibrando el modelo para cada zona de estudio.
- Permite la incorporación de las rutinas de nutrientes y pesticidas.

Las limitaciones del modelo son las siguientes:

- La ecuación de Richards no tiene en cuenta la fracción gruesa. Esto puede influir en el cálculo de la permeabilidad y del flujo de agua sobre todo en suelos con abundancia de fragmentos gruesos.
- La ecuación de Richards no considera el fenómeno de histéresis que se produce por las variaciones de la humedad entre los periodos secos y húmedos y por las fluctuaciones de la capa freática (Landeros-Sánchez et al., 2001; Eliassi & Glass, 2001).
- Tampoco simula el flujo preferencial de agua que puede ocurrir a través de canales y la macroporosidad (bypass-flow).
- El modelo LEACHM está constituido por una sucesión de modelos (rutinas) de manera que los errores pasan de una rutina a la siguiente y así sucesivamente.
- El modelo no representa adecuadamente la condición de saturación. Los valores de potencial entre 0 y -0.02 kpa no se utilizan debido a que se producen errores de cálculo de modo que en perfiles saturados cuando el potencial es cero se utiliza el valor -0.02 Kpa.
- Al ser un modelo unidimensional no tiene en cuenta las influencias laterales que pueden afectar en los resultados.

2.3. LEACHM

LEACHM es sobre todo un modelo de investigación que describe el régimen hídrico, la química y el transporte de solutos en suelos insaturados o parcialmente saturados con profundidades de hasta dos metros (Hutson & Wagenet, 1992) y cuyas siglas son: Leaching Estimation And Chemistry Model. Existen tres variantes del modelo que describen el transporte de pesticidas, nutrientes (N y P) y las sales. Estas versiones utilizan esquemas de soluciones numéricamente similares de la solución para simular el movimiento hídrico y químico. La diferencia se encuentra en que LEACHN describe el transporte y las transformaciones del N y P, LEACHP simula el desplazamiento y degradación de pesticidas, LEACHC describe el movimiento de iones inorgánicos y LEACHB describe la dinámica de las poblaciones microbianas en presencia de un sustrato de crecimiento. Estos modelos han sido propuestos para su aplicación en columnas de laboratorio y suelos naturales. Todos ellos incluyen la adsorción de agua y solutos por las raíces de las plantas, junto con los medios flexibles para describir la precipitación de especies químicas y la evaporación superficial del agua. La simulación del flujo térmico se incluye en LEACHN y LEACHP proporcionando una oportunidad para ajustar valores constantes de acuerdo con la temperatura y el contenido de agua. La figura 2.4 describe los procesos y reacciones que tiene en cuenta el modelo.



Figura. 2.4. Esquema de los componentes principales y rutinas descritas en el LEACHM

Es importante indicar que el LEACHM no se puede utilizar para: 1) simular el crecimiento y producción de la cosecha ni para la respuesta de las plantas al suelo o condiciones climáticas. Las plantas se representan en el modelo únicamente para estimar la transpiración y la dinámica de los nutrientes; 2) describir la escorrentía superficial y la

2. Modelos

erosión debido a que cualquier estimación de la transferencia de las especies químicas al agua superficial se basa en índices y asunciones subjetivas; 3) explicar los efectos de los flujos regionales, superficiales y subterráneos.

El desarrollo del LEACHM ha sido gradual durante los años 1987-2001, planteándose, en un principio, como respuesta a las necesidades de los programas de investigación de Cornell y enriqueciéndose, posteriormente, con las sugerencias aportadas por los usuarios (Cornell University, 1996; Hutson, 2001). A lo largo de estos años el código original ha sido modificado extendiéndose a aplicaciones particulares que incluyen solamente aquellos procesos de interés para los especialistas, manteniendo las entradas de datos de la forma más sencilla y objetiva posible. Los procesos incluidos en el modelo están definidos por ecuaciones matemáticas, centrándose en la concentración, transporte y reacciones químicas dentro del perfil, sin expandirse a otras áreas como la modelización del crecimiento de los cultivos o la hidrología superficial y subterránea. También se excluyen aquellas modificaciones, utilidades y extensiones que precisan de manipulación previa de los datos.

Los procedimientos y ecuaciones utilizadas por el LEACHM no son los únicos que se pueden utilizar (Brusseau & Rao, 1990), existen otras opciones que describen los procesos de transporte (De Jong & Bootsma, 1996; Radcliffe & Rasmunssen, 2000; Leij & Van Genuchten, 2000), adsorción y reacciones de intercambio (Yamaguchi et al., 1994; Zhang, 1995), cinética de degradación y transformaciones y presentación de los datos de entrada y salida, sin embargo los procedimientos seleccionados están considerados científicamente válidos y son habitualmente utilizados por su claridad conceptual y disponibilidad de los datos de entrada. No obstante existen otras alternativas igualmente válidas que las incluidas en el modelo y los usuarios pueden adaptar o añadirlas al código original.

Los suelos naturales manifiestan una complejidad imposible de reflejar adecuadamente en un modelo unidimensional. No obstante debemos pensar que la mayoría de los procesos que influyen sobre el destino de las especies químicas en la zona radicular están representados en el modelo de una manera semicuantitativa. Uno de los objetivos que se pretende con el uso del LEACHM es el aprecio creciente de la importancia relativa de las diferentes vías químicas que se dan en el suelo y proporcionar un medio de evaluar y clarificar los datos, a menudo confusos y variables, recogidos en el campo.

La modelización matemática está ampliamente aceptada en la práctica científica como mecanismo de integración y comprensión de los procesos básicos y descripción de sistemas más allá de los logros obtenidos utilizando juicios humanos subjetivos. El sistema suelo-agua y las especies químicas disueltas en él son un ejemplo de sistemas naturales que pueden ser modelizados con diferentes niveles de resolución pudiendo ser aplicable a numerosos estudios.

En los últimos años se han considerado una variedad de aproximaciones para la descripción del movimiento del agua y los solutos en los suelos (Addiscott & Bailey, 1990; Bohne et al., 1993; Williams & Ahuja, 1993; Setiawan & Nanako, 1993; Shouse et al., 1995; Selim & Ma, 1998; Radcliffe & Ramunssen, 2000). Como respuesta a los abundantes datos de campo recogidos se han presentado nuevos modelos de lixiviado de solutos (Rogers et al., 1995). Estos modelos varían en su aproximación conceptual y grado de complejidad y se

encuentran fuertemente influenciados por el ambiente, preparación y subjetividad de sus creadores. La mayoría de ellos son el resultado de la investigación en la física y química de los suelos, sin embargo su uso general no va más allá de su desarrollo y pruebas iniciales.

Generalmente, estos modelos no se han utilizado para la gestión. La razón más importante es, que la cantidad de datos de entrada requeridos, la profundidad con que se abordan los procesos básicos y la sensibilidad y exactitud de las simulaciones depende de la perspectiva con la que se desarrolla el modelo y los modelos de investigación requieren de una información muy detallada, que no es necesaria en los modelos de gestión.

Los modelos determinísticos del movimiento de solutos basados en la teoría del desplazamiento miscible han sido extensamente utilizados durante 30 años. Estos modelos presumen que los procesos de desplazamiento de los solutos y el agua en el suelo funcionan de modo que un conjunto de acontecimientos físicos y químicos conducen a una distribución definida del agua y de las sales en el perfil del suelo. El flujo del agua es definida como producto de un gradiente hidráulico y una conductividad hidráulica dependiente del contenido de agua. Este tipo de modelo se resume en la ecuación de convección-dispersión (ECD), derivada del análisis de muchos perfiles (Kirkham & Powers, 1972; Wagenet, 1983) y resuelta analíticamente para una variedad de condiciones particulares de inicio y límites. Estas soluciones analíticas han sido aplicadas extensiva y exitosamente en los estudios controlados en los cuales el flujo del agua es constante. El resultado es que la ecuación de convección-dispersión es una buena aproximación para estos casos (Van Genuchten & Cleary, 1979). Sin embargo esta ecuación requiere unos datos de entrada que no siempre están disponibles o son difícilmente cuantificables, de modo que muchos modelos de gestión utilizan algunas condiciones para simplificar la descripción del transporte del agua y de los solutos. Esta opción está incluida en el LEACHM y se basa en el modelo de condición móvil-inmóvil descrita por Addiscott (1977).

Las condiciones transitorias del campo, en las cuales el movimiento del agua y solutos varía con la profundidad y el tiempo, requieren de una solución numérica (más que analítica) de la ecuación de convección-dispersión para representar adecuadamente la influencia de los cambios en el contenido de agua, flujo y concentraciones de solutos. Para describir el régimen del flujo del agua se debe resolver numéricamente la ecuación de Richards. Muchos modelos de investigación se han desarrollado sobre esta base (Ross, 1990) y el LEACHM, en todas sus versiones, tiene una estructura similar a estos modelos.

Hasta ahora los modelos deterministas disponibles se han utilizado en la investigación retrasando su utilización en la gestión agrícola hasta que sean probados y verificados bajo condiciones de campo. Actualmente existe un creciente interés por parte de la comunidad agrícola en el uso de modelos con el fin de controlar las aplicaciones de agua y de los productos químicos en los suelos y predecir sus consecuencias ambientales (Akinremi & McGinn, 1996). La disponibilidad de ordenadores y el reconocimiento de la complejidad de los sistemas suelo-planta-agua ha acelerado la demanda por parte de los profesionales de la comunidad agrícola. La investigación llevada a cabo durante 30 años ha proporcionado un conocimiento sobre los procesos físicos, químicos y biológicos que operan bajo condiciones de campo y esta información científica debe ser condensada y utilizada en una

2. Modelos

configuración agrícola. Cada vez más, los sistemas de información geográficos (SIG) se utilizan conjuntamente con los modelos para reflejar distribuciones espaciales de los datos de entrada de información y de las prácticas de gestión (Batlle-Sales & Abad, 1992; Batlle-Sales, 2001; Cabrera et al., 1993; Vieira et al., 1997).

El paso siguiente, tras modelizar el movimiento del agua y los solutos bajo las condiciones de campo, es condensar las descripciones proporcionadas por los modelos de investigación (deterministas y estocásticos) de manera que sean útiles como herramientas de gestión, esto se logra utilizando un modelo de investigación construido de manera que las entradas de información de datos sean fácilmente entendidas y no excesivamente exigentes en cuanto a medidas y que las salidas del modelo sean ordenadas para poderlas interpretar con sencillez. De esta forma el modelo inmóvil pasa de ser una representación determinista a un sistema variable espacio-temporal. Se ha demostrado que el uso de un modelo determinista de una manera "estocástica" es posible y que la ejecución sucesiva del modelo con diversos valores de entrada que representen las posibles condiciones del campo puede proporcionar una descripción exacta de la variabilidad del agua y de las especies químicas en el campo (Wagenet & Hutson, 1986). Este uso de los modelos numéricos, llevado a cabo cuidadosamente, ofrece la oportunidad de utilizar los modelos de investigación para las propuestas de gestión y también como herramientas de diseño e interpretación en futuros esfuerzos de la investigación de campo.

2.3.1. Fichero de entrada

Todos los datos de entrada para LEACHM están contenidos en un único fichero que puede ser editado mediante un editor de ficheros ASCII. Este fichero de entrada no tiene extensión y los archivos de salida se denominan con el mismo nombre que el fichero de entrada más una extensión.

La ventaja de la existencia de un único fichero está en que todos los datos están organizados para ser usados en la simulación y el fichero puede ser copiado, renombrado, editado y copiado total o parcialmente con facilidad para crear nuevos ficheros y rodar nuevas simulaciones.

La desventaja es el tamaño del fichero cuando las simulaciones se extienden por un largo periodo debido a que los datos de lluvia y evapotranspiración son numerosos y se encuentran situados al final del fichero.

A continuación se detallan y describen los datos de entrada agrupados en varias secciones:

1. Periodo de tiempo de la simulación, profundidad del perfil y espaciado de nodos
2. Especificaciones de los ficheros de salida
3. Propiedades físicas del suelo
4. Datos sobre los cultivos

5. Datos químicos
6. Aplicaciones de productos químicos
7. Profundidad de los cultivos
8. Lluvias y riegos: volumen y composición química
9. Evapotranspiración potencial

En la tabla 2.3 se presenta un ejemplo de fichero de entrada con explicaciones de cada parámetro y sus opciones.

Tabla 2.3. Ejemplo de fichero de entrada

```
T9CAL_W1 < NOMBRE
-----
                                LEACHC SALINITY DATA FILE.
*****SECCION 1*****
2      <FORMATO FECHA 1: MES/DIA/AÑO; 2:DIA/MES/AÑO
250199 <FECHA INICIO
060200 <FECHA FIN SIMULACIÓN
0.05   <INTERVALOS DE TIEMPO
1      <REPETICIONES DE EVENTOS DE LLUVIA Y RIEGO
750    <PROFUNDIDAD DEL PERFIL (mm)
150    <ESPESOR DEL SEGMENTO
2      <LIMITE INFERIOR 1:CAPA FREATICA FIJA; 2: DRENAJE LIBRE, 3:FLUJO
      CERO 4:LISIMETRO.
750    <PROFUNDIDAD INICIAL DE LA CAPA FREATICA
-----
1      < MODELO DE FLUJO 1: Richards; 2: Addiscott; 3: steady-state.
0.0    < CONTENIDO DE AGUA EN STEADY-STATE
*****SECCION 2*****
                                FICHEROS DE SALIDA
3      <NUMERO DE FICHEROS DE SALIDA 1: OUT; 2: OUT+SUM; 3: OUT+SUM+BTC
----FICHERO *.OUT:
1      <UNIDADES 1: ug/kg, 2: mg/m2
1      <FRECUENCIA DE IMPRESIÓN 1: TODOS LOS NODOS; 2: NODOS ALTERNADOS
2      <PERIODICIDAD 1: INTERVALOS FIJOS; 2: FECHAS ESPECIFICAS
0      <INTERVALO DE IMPRESIÓN
2      <NUMERO DE FECHAS ESPECIFICAS
3      <IMPRESIÓN DE TABLAS 1: BALANCE DE MASAS; 2: +NODOS; 3: +CULTIVOS
0      <RESET DE VALORES ACUMULADOS 12 MESES 0:NO; 1: SI
----FICHERO *.SUM:
999    <INTERVALO DE IMPRESION
150    <PRIMER SEGMENTO
450    <SEGUNDO SEGMENTO
750    <TERCER SEGMENTO
1      <CUARTO SEGMENTO 1:ZONA RADICULAR; 2:PERFIL; 3: PROFUNDIDAD 3 A
      LÍMITE INFERIOR
----FICHERO *.BTC:
1.0    <INCREMENTO EN PROFUNDIDAD DE DRENAJE POR ENTRADA (mm)
-----
```

2. Modelos

--FECHAS DE SALIDA

Fecha	Tiempo
190299	.5
140499	.5

*****SECCION 3*****
PROPIEDADES FISICAS

-- SELECCIONAR EL MODELO DE RETENCION

NODO no.	Arcilla %	Limo %	Carbón orgánico %	Modelo retención	Humedad inicial Theta	Distrib. raíces (no crec.) kPa	Tª °C
1	19.97	40.26	0.25	0	.097	000.	10
2	19.97	40.26	0.25	0	.097	000.	10.
3	20.00	46.67	0.19	0	.108	000.	10.
4	20.00	46.67	0.19	0	.108	000.	10.
5	36.66	39.73	0.42	0	.068	000.	10.

1 < HUMEDAD INICIAL 1: THETA; 2: POTENCIAL

DENSIDAD DE LAS PARTICULAS: Arcilla 2.65 Limo y Arena 2.65 M.O. 1.10

PERFIL UNIFORME

0.0 0.0 <DENSIDAD APARENTE Y DENSIDAD REAL (kg/dm3) .
 -0.00 <PARAMETRO a DE CAMPBELL (AEV) (kPa)
 0.00 <PARAMETRO b DE CAMPBELL
 00 -0.0 <CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (mm/day) Y POTENCIAL MATRIC. (kPa)
 0.0 <PARAMETRO DE INTERACCION DE POROS (P)
 0 <DISPERSIVIDAD (mm)
 0 <ADDISCOTT: INTERVALO DE MOBILIDAD-INMOBILIDAD (SAT (kPa))
 0 <ADDISCOTT: INTERVALO DE MOBILIDAD-INMOBILIDAD (CC (kPa))

PERFIL NO UNIFORME

NODO	a	b	Densidad Aparente	K	pKa	P	Disper.	Addiscott sat.	C.C
1	-0.804	12.000	1.51	86.50	-00.	1.0	75.	-5.0	-200.
2	-0.804	12.000	1.51	86.50	-00.	1.0	75.	-5.0	-200.
3	-1.600	12.000	1.52	81.68	-00.	1.0	75.	-5.0	-200.
4	-1.600	12.000	1.52	81.68	-00.	1.0	75.	-5.0	-200.
5	-0.178	8.695	1.28	187.67	-00.	1.0	75.	-5.0	-200.

ESCORRENTÍA POR EL METODO DEL NUMERO DE CURVA

95 <NUMERO DE CURVA (CN2)

0.5 <PENDIENTE %

*****SECCION 4*****
DATOS CULTIVOS

1 <PRESENCIA DE CULTIVOS: 1:SI, 0:NO.

2 <Nº DE CULTIVOS

-1500 <PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE kPa.

-2500 <POTENCIAL HIDRICO DE LA RAIZ (min) (kpa).

1.3 <INCREMENTO DE LA TRANSPIRACION POR CAIDA DE LA EVAPORACION

1.05 <RESISTENCIA RADICULAR

2. Modelos

Crec. Tip biol. Extrac._N Fecha de maduración Prof. Fracc.
 1: No 1: Yes 1:en maduración raíces cober
 2: Yes 2: No 2:en cosecha Germ Emerg Raíz Cob Cosec

```
-----
1      1      1      250199 250199 250199 250199 010101 0.50  0.8
2      2      1      010399 150399 150399 250499 010101 0.20  0.8
-----
```

*****SECCION 5*****

PROPIEDADES QUÍMICAS

CATIONES Y ANIONES SOLUBLES

NODO	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	Alkalinity
	mmol/l						mmol-/l
1	10.61	5.34	4.28	0.49	7.03	11.54	6.53
2	10.61	5.34	4.28	0.49	7.03	11.54	6.53
3	11.36	4.27	3.66	0.23	6.59	10.40	7.73
4	11.36	4.27	3.66	0.23	6.59	10.40	7.73
5	16.83	19.04	8.62	0.11	37.39	18.94	5.14

500 < PROFUNDIDAD (mm) DE AGUA FREÁTICA

CATIONES DE INTERCAMBIO Y CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

NODO	Ca	Mg	Na	K	CEC
	mmol+/kg				
1	97.61	89.90	0.73	10.81	198.95
2	97.61	89.90	0.73	10.81	198.95
3	105.23	96.58	1.10	9.54	212.45
4	105.23	96.58	1.10	9.54	212.45
5	123.81	118.11	3.94	9.60	255.46

NODO	Mg/Ca	Ca/Na	Ca/K	pCO2	Calcite	Gypsum
	COEFICIENTES DE SELECTIVIDAD			(atm)	(Fracción de masa)	
1	0.0	0.00	0.00	0.022	0.164	0.000
2	0.0	0.00	0.00	0.022	0.164	0.000
3	0.0	0.00	0.00	0.034	0.134	0.000
4	0.0	0.00	0.00	0.034	0.134	0.000
5	0.0	0.00	0.00	0.014	0.084	0.000

PROCEDIMIENTO DE EQUILIBRIO QUIMICO:

1 < SELECCIONAR 0, 1 ó 2

4 < INTERVALO DE TIEMPO (EQUILIBRIO QUIMICO)

DIFUSION

120 <COEFICIENTE MOLECULAR DE DIFUSION EN AGUA (mm2/day)

*****SECCION 6*****

FERTILIZACION

1 < NUMERO DE APLICACIONES

Fecha	Segmento	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	CO3
		-----mol/sq.m-----							
010101	1	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00

2. Modelos

*****SECCION 7*****

PROFUNDIDAD DE LOS CULTIVOS

2 <NUMERO DE CULTIVOS

Fecha Prof. del cultivo (mm)

010101 200

010101 200

*****SECCION 8*****

LLUVIA Y RIEGOS: VOLUMEN Y COMPOSICION

3 < NUMERO DE EVENTOS DE LLUVIA Y RIEGO

Fecha T Cantid. Densidad Composición mmol/l
mm de flujo Ca Mg Na K Cl SO4 Alcal.

010299	0.5	40.0	200.0	4.54	1.44	0.90	0.00	2.11	0.40	4.32
010299	0.3	0.2	200.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
070299	0.1	0.2	200.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

*****SECCION 9*****

ET SEMANAL, TEMPERATURA Y NIVEL FREATICO

Semana	ET	Nivel freático	T ^a m	Ampl. térmica
1	15.19	0	8.04	8.69
2	20.83	0	11.26	10.91
3	31.90	0	7.81	7.63
4	47.15	0	13.01	10.71

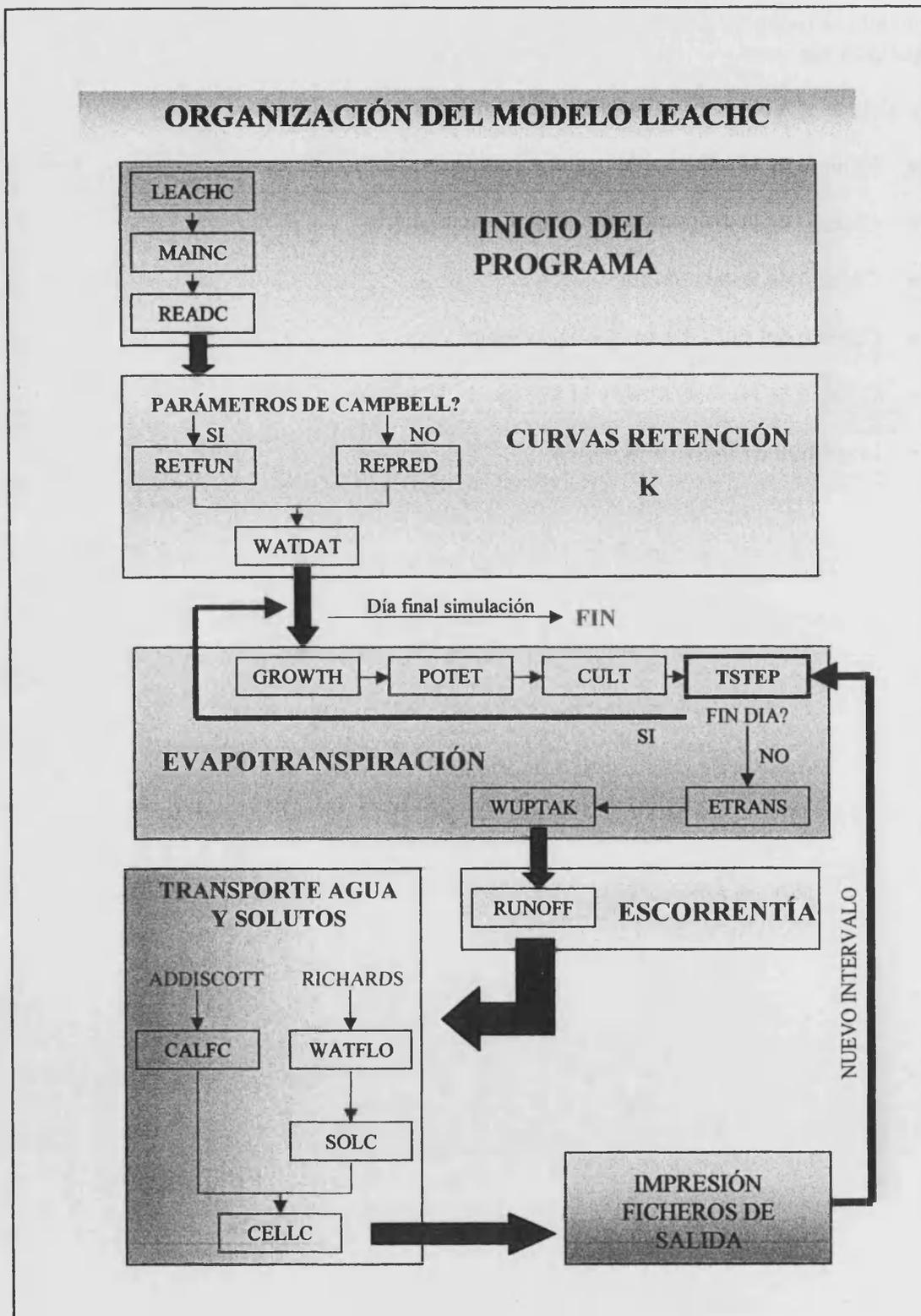
2.3.2. Estructura del modelo: rutinas y subrutinas

El modelo se organiza mediante subrutinas o módulos que se describen detalladamente en el apartado siguiente.

El modelo se ejecuta según el esquema siguiente (ver figura 2.5.):

- Cálculo de la retención de agua y conductividad hidráulica no saturada
- Cálculo de la evapotranspiración potencial diaria
- Cálculo de la escorrentía
- Cálculo del flujo del agua y temperatura
- Cálculo de las reacciones y el transporte de solutos
- Impresión de ficheros de salida

Figura 2.5. Esquema de organización del programa LEACHC



A continuación se describen las rutinas necesarias para ejecutar el programa LEACHC utilizado para la calibración y validación del modelo y la simulación de escenarios.

Las rutinas y subrutinas están organizadas en varios grupos. El primero de ellos, contiene las rutinas de inicio del programa. El segundo grupo, las rutinas que permiten calcular las curvas de retención de agua y la conductividad hidráulica no saturada. En el tercero, se agrupan las rutinas relacionadas con el cálculo de la evapotranspiración potencial a partir de la ETo y los cultivos. Un cuarto grupo reúne las rutinas relacionadas con el cálculo de la escorrentía. Por último, el quinto agrupa las rutinas relacionadas con el transporte de agua y solutos.

2.3.2.1. Inicio de programa

Estas rutinas permiten el inicio del programa, revisan la conformidad de los datos del fichero de entrada y verifican que los valores se corresponden con las especificaciones del modelo.

- *Leachc*

En esta rutina se verifica la conformidad de los datos con las especificaciones del usuario. Se revisan el número de segmentos, los intervalos de tiempo, el número de especies químicas consideradas, el número de eventos de lluvia y riego, el número de cultivos y de fertilizaciones. Los valores asignados a estos parámetros se cotejan con los datos especificados y en caso de detectarse errores en la introducción de los datos se detiene la ejecución del programa.

- *Mainc*

En esta rutina se revisan las especificaciones del usuario respecto a la impresión de los archivos de salida y se crean los archivos de salida indicados por el usuario con el nombre del fichero de entrada más la extensión que les corresponda. Estos archivos permanecen abiertos durante la ejecución del programa y van siendo impresos conforme progresan las rutinas siguientes.

- *Readc*

En la rutina *Readc* se procede a la lectura de los datos y de los valores límite especificados por el usuario para determinados parámetros. A partir de este momento comienzan a generarse las estimaciones e imprimirse los ficheros de salida.

2. Modelos

2.3.2.2. Curvas de retención y conductividad hidráulica no saturada

▪ Retfun

Esta rutina permite estimar la retención del agua y la conductividad hidráulica no saturada utilizando las ecuaciones de Campbell. Estas ecuaciones relacionan la fracción de contenido de agua volumétrica (θ), el potencial de presión (h) y la conductividad hidráulica saturada (K) requeridas en el modelo de flujo de agua. Normalmente el LEACHM utiliza las funciones basadas en las propuestas por Campbell (1974), puesto que los suelos homogéneos pueden ser simulados fácilmente cambiando tan solo dos constantes de la retención del agua, la densidad aparente y la conductividad hidráulica saturada. No obstante, si se desea, el modelo puede adaptarse para usar otras funciones como por ejemplo las ecuaciones de Van Genuchten (1980), Hendrickx (1990), Zhuang et al. (2001) y Assouline (2001). Para ello deben cambiarse las funciones de Theta ($\theta(h)$), HC ($K(h)$), POTL ($h(\theta)$) y DWC ($\partial\theta/\partial h$), definidas en la rutina Retfun.

La ecuación de retención de agua de Campbell es la siguiente:

$$h = a(\theta/\theta_s)^{-b}$$

donde θ_s es el contenido de agua en saturación y a , b son constantes.

La ecuación anterior presenta una gran discontinuidad en $h = a$ y $\theta/\theta_s = 1$. Una mejor representación de la retención de agua en suelos naturales se obtiene reemplazando esta función por una función parabólica a potenciales elevados (Clapp & Hornberger, 1978). Hutson y Cass (1987) modificaron la ecuación de Campbell definiendo una sección parabólica expresada en los términos de las constantes a y b para los potenciales de presión entre cero y h_c

$$h = [a(1-\theta/\theta_s)^{1/2}(\theta_c/\theta_s)^{-b}] / [1 - \theta_c/\theta_s]^{1/2}$$

h_c y θ_c es el punto de intersección entre las dos funciones:

$$h_c = a [2b/(1 + 2b)]^{-b}$$

$$\theta_c = 2b \theta_s / (1 + 2b)$$

La curva de retención de agua es sigmoideal y continua. Aplicando la ecuación de Campbell se obtiene la ecuación de conductividad:

$$K(\theta) = K_s (\theta/\theta_s)^{2b+2+p}$$

donde $K(\theta)$ es la conductividad hidráulica (mm/día) para un determinado contenido de agua θ , K_s es la conductividad hidráulica en saturación θ_s y p es un parámetro de interacción de poros que, generalmente, tiene el valor 1.

A cada contenido de humedad le corresponde un valor de potencial matricial. Los valores de potencial entre 0 y -0.02 kpa no se utilizan para evitar errores de cálculo de modo que

en perfiles saturados cuando el potencial es cero se utiliza el valor -0.02 Kpa. Este valor está definido en la rutina Watdat.

Existen dos vías posibles de ejecución del fichero que depende de si los parámetros de Campbell son o no conocidos. En el caso de que se conozcan los valores se optará por el modelo de retención 0 y se escribirán dichos parámetros en el fichero de entrada, durante la ejecución se saltará la rutina Retpred. En caso de que los parámetros no se conozcan la curva de retención se puede estimar a partir de una ecuación de regresión que se ejecuta en la siguiente rutina.

▪ *Retpred*

Se utiliza para estimar las curvas de retención cuando no se conocen los parámetros de Campbell.

Esta rutina contiene diversos modelos o funciones de edafotransferencia para predecir la retención del agua a partir de la distribución granulométrica, la densidad aparente y el contenido de materia orgánica. Inicialmente las predicciones pueden ser revisadas utilizando el programa Retfit para seleccionar la más adecuada.

En la tabla 2.4 se describen los modelos de regresión que pueden seleccionarse en Retpred.

Tabla 2.4. Modelos de retención (Hutson & Wagenet, 1992)

Valor fichero entrada	FUENTE	SUELOS	VARIABLES
1	Thomasson & Carter (1989)	Britain (topsoil)	Textura, CO, ρ_a
2	Thomasson & Carter (1989)	Britain (subsoil)	Textura, CO, ρ_a
3	Hutson (1986)	South Africa	Arcilla+Limo, ρ_a
4	Hutson (1986)	South Africa	Arcilla
5	Rawls & Brakensiek (1985)	USA	Textura, MO, ρ_a

ρ_a = Densidad aparente; CO = Carbón orgánico; MO = Materia orgánica

Las precauciones que hay que considerar al utilizar estas ecuaciones son las siguientes: en primer lugar, las ecuaciones se han desarrollado para regiones concretas con unas condiciones específicas de suelo y clima por ello hay que seleccionar la ecuación que mejor representa a las condiciones de la zona de estudio y en segundo lugar, se asume que las partículas del suelo tienen un tamaño inferior a 2 mm, por tanto no considera la fracción gruesa.

Los valores estimados a partir de las ecuaciones se sitúan en la primera tabla del fichero (*.out). La porosidad se calcula a partir de la densidad aparente y densidad de las partículas según la ecuación:

$$P = 1 - \rho_a/\rho_s$$

2. Modelos

donde P es la porosidad, ρ_a es la densidad aparente y ρ_s es la densidad de las partículas. La densidad media de las partículas se calcula a partir de las fracciones de arcilla (f_{cl}), limo + arena (f_{sa}), el contenido en materia orgánica (f_{OM}) y la densidad de las partículas de la siguiente forma:

$$1/\rho_s = f_{cl}/\rho_{cl} + f_{sa}/\rho_{sa} + f_{OM}/\rho_{OM}$$

asumiendo que los porcentajes de arcilla, limo, arena y materia orgánica suman 100 y que el % MO = 1.7 x % CO.

▪ *Watdat*

A partir de los parámetros de retención especificados en el fichero de entrada o la estimación a partir de las funciones de edafotransferencia, se calcula e imprimen en el fichero de salida (*.out) el contenido de humedad (θ) y la conductividad hidráulica para un rango de valores de potencial matricial que depende del modelo de retención seleccionado. En la tabla 2.5 se describen las ecuaciones de regresión para el cálculo estimado de estas variables.

Tabla 2.5. Ecuaciones de regresión (según modelo de retención)

<p>Modelo de retención: (1) Thomasson and Carter (1989) Topsoil</p> <p>$\theta (-5) = 0.4981 + 0.0027 (\text{Arcilla}) + 0.0011 (\text{Limo}) + 0.003 (\text{CO}) - 0.1778 \rho_a$ $\theta (-10) = 0.4030 + 0.0034 (\text{Arcilla}) + 0.0013 (\text{Limo}) + 0.004 (\text{CO}) - 0.125 \rho_a$ $\theta (-40) = 0.2668 + 0.0039 (\text{Arcilla}) + 0.0013 (\text{Limo}) + 0.0046 (\text{CO}) - 0.0764 \rho_a$ $\theta (-200) = 0.0938 + 0.0047 (\text{Arcilla}) + 0.0011 (\text{Limo}) + 0.0069 (\text{CO})$ $\theta (-1500) = 0.0611 + 0.0040 (\text{Arcilla}) + \text{Celled} + 0.0050 (\text{CO})$</p>
<p>Modelo de retención: (2) Thomasson and Carter (1989) Subsoil</p> <p>$\theta (-5) = 0.4216 + 0.0034 (\text{Arcilla}) + 0.0018 (\text{Limo}) + 0.0022 (\text{CO}) - 0.1697 \rho_a$ $\theta (-10) = 0.3086 + 0.0040 (\text{Arcilla}) + 0.0021 (\text{Limo}) + 0.0126 (\text{CO}) - 0.1246 \rho_a$ $\theta (-40) = 0.2205 + 0.0047 (\text{Arcilla}) + 0.0020 (\text{Limo}) + 0.0093 (\text{CO}) - 0.0956 \rho_a$ $\theta (-200) = 0.0431 + 0.0108 (\text{Arcilla}) - 0.000079 (\text{Arcilla})^2$ $\theta (-1500) = 0.0125 + 0.0092 (\text{Arcilla}) - 0.000062 (\text{Arcilla})^2$</p>
<p>Modelo de retención: (3) Hutson (1986)</p> <p>$\theta (-3) = 0.394 + 0.00211 (\text{Arcilla} + \text{Limo}) - 0.096 \rho_a$ $\theta (-10) = \text{EXP} (-3.430 + 0.419 (\text{Arcilla} + \text{Limo})^{0.5} - 1.83\text{E-}3 * (\text{Arcilla} + \text{Limo})^{1.5})$ $\theta (-30) = \text{EXP} (-3.894 + 0.435 (\text{Arcilla} + \text{Limo})^{0.5} - 1.64\text{E-}4 * (\text{Arcilla} + \text{Limo})^2)$ $\theta (-100) = \text{EXP} (-3.943 + 0.374 (\text{Arcilla} + \text{Limo})^{0.5} - 1.03\text{E-}6 * (\text{Arcilla} + \text{Limo})^3)$ $\theta (-1500) = \text{EXP} (-4.384 + 0.404 (\text{Arcilla} + \text{Limo})^{0.5} - 9.85\text{E-}7 * (\text{Arcilla} + \text{Limo})^3)$</p>

Cont. Tabla 2.5

<p>Modelo de retención: (4) Hutson (1986)</p> $\theta (-10) = \text{EXP} (-3.230 + 0.437 (\text{Arcilla})^{0.5} - 2.44\text{E-}3 * (\text{Arcilla})^{1.5})$ $\theta (-30) = \text{EXP} (-3.725 + 0.468 (\text{Arcilla})^{0.5} - 2.56\text{E-}4 * (\text{Arcilla})^2)$ $\theta (-100) = \text{EXP} (-3.811 + 0.402 (\text{Arcilla})^{0.5} - 1.93\text{E-}6 * (\text{Arcilla})^3)$ $\theta (-500) = \text{EXP} (-4.899 + 0.821 (\text{Arcilla})^{0.5} - 0.0448 (\text{Arcilla}))$ $\theta (-1500) = \text{EXP} (-4.301 + 0.451 (\text{Arcilla})^{0.5} - 2.09\text{E-}6 * (\text{Arcilla})^3)$
<p>Modelo de retención: (5) Rawls and Brakensiek (1985)</p> $\theta (-20) = 0.4180 - 0.0021 (\text{Arena}) + 0.0035 (\text{Arcilla}) + 0.0232 (\text{OM}) - 0.0859 \rho_a$ $\theta (-33) = 0.3486 - 0.0018 (\text{Arena}) + 0.0039 (\text{Arcilla}) + 0.0228 (\text{OM}) - 0.0738 \rho_a$ $\theta (-60) = 0.2819 - 0.0014 (\text{Arena}) + 0.0042 (\text{Arcilla}) + 0.0216 (\text{OM}) - 0.0612 \rho_a$ $\theta (-100) = 0.2352 - 0.0012 (\text{Arena}) + 0.0043 (\text{Arcilla}) + 0.0202 (\text{OM}) - 0.0517 \rho_a$ $\theta (-200) = 0.1837 - 0.0009 (\text{Arena}) + 0.0044 (\text{Arcilla}) + 0.0181 (\text{OM}) - 0.0407 \rho_a$ $\theta (-400) = 0.1426 - 0.0007 (\text{Arena}) + 0.0045 (\text{Arcilla}) + 0.0160 (\text{OM}) - 0.0315 \rho_a$ $\theta (-700) = 0.1155 - 0.0005 (\text{Arena}) + 0.0045 (\text{Arcilla}) + 0.0143 (\text{OM}) - 0.0253 \rho_a$ $\theta (-1000) = 0.1005 - 0.0004 (\text{Arena}) + 0.0044 (\text{Arcilla}) + 0.0133 (\text{OM}) - 0.0218 \rho_a$ $\theta (-1500) = 0.0854 - 0.0004 (\text{Arena}) + 0.0044 (\text{Arcilla}) + 0.0122 (\text{OM}) - 0.0182 \rho_a$

2.3.2.3. Evapotranspiración y cultivos

▪ Growth

La rutina Growth permite el cálculo del crecimiento y distribución de las raíces, así como de la cobertura de los cultivos, utilizando ecuaciones empíricas. Los resultados obtenidos son utilizados por otras rutinas para calcular la evapotranspiración (rutina Potet) y la absorción de agua por las plantas (rutina Wuptak). También permite el cálculo de la distribución de los residuos orgánicos de los cultivos y la extracción de N, C y P. Este cálculo no se incluye en el programa LEACHC pero sí en los programas LEACHN y LEACHP.

La simulación del crecimiento de los cultivos representa exclusivamente la distribución de las raíces y la cobertura en función del tiempo y la profundidad, no teniendo en cuenta las relaciones entre las condiciones del suelo y el cultivo ya que el LEACHM no pretende ser un modelo de crecimiento.

El LEACHM permite seleccionar entre tres opciones: i) no existencia de vegetación, ii) distribución constante de las raíces y la cobertura y iii) cultivo en crecimiento. En el primer y segundo caso la rutina Growth se omite.

Las ecuaciones usadas en el modelo son similares a las usadas por Tillotson et al. (1980) y están basadas en Davidson et al. (1978) para el crecimiento de las raíces de maíz durante un periodo de 113 días. Estas ecuaciones predicen que a la madurez las raíces se desarrollan hasta una profundidad de 1.3 metros. El modelo introduce una modificación adicional mediante un factor de profundidad radicular relativa a las ecuaciones de Davidson que

2. Modelos

amplia o comprime la distribución de raíces, de forma que un factor de 0.5 comprime hasta la mitad la profundidad de las raíces, de esta forma se puede ajustar la profundidad del desarrollo radicular en cada cultivo. Cuando la profundidad del perfil es menor que la profundidad de las raíces calculada el límite inferior del perfil se considera como límite de las raíces.

El incremento de la fracción de cobertura con el tiempo se describe mediante una curva empírica sigmoideal (Childs, 1975):

$$\text{Cobertura} = \text{Cobertura en la madurez} / [1 + \exp(6-(12t_1/t_2))]$$

donde, t_1 corresponde al día de germinación y t_2 es el tiempo transcurrido entre la germinación y la madurez de la planta (ver figura 2.6).

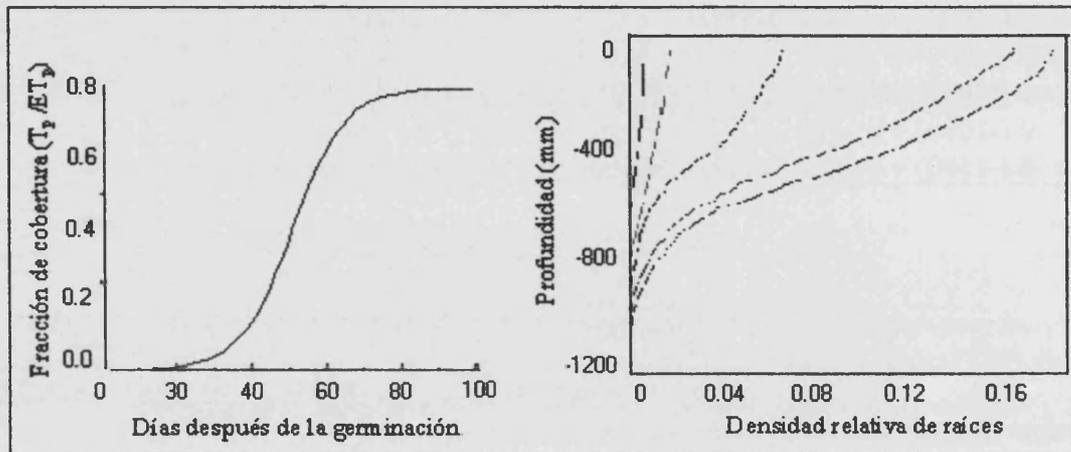


Figura 2.6. Curvas de cobertura (Childs, 1975) y densidad relativa de las raíces (Tillotson et al, 1980)

La fracción de cobertura del cultivo se utiliza para calcular la evapotranspiración potencial.

- *Potet*

Las rutinas de evapotranspiración están basadas en los métodos de Childs y Hanks (1975). A partir de la fecha de inicio de la simulación se calcula la evapotranspiración diaria (ET_d) utilizando la evaporación semanal (ET_s) introducida en el fichero de entrada y un factor del cultivo (f_c) según la ecuación:

$$ET_d = (f_c \times ET_s) / 7$$

La transpiración potencial diaria (T_d) se calcula multiplicando la ET_d por la fracción de cobertura (f_{cb})

$$T_d = ET_d \times f_{cb}$$

Por último la superficie potencial de evaporación (E_p) se calcula como diferencia entre la evapotranspiración potencial y la transpiración potencial

$$E_d = ET_d - T_d$$

▪ *Cult*

Representa los efectos de mezcla en la zona de influencia del cultivo. Se inicia el día especificado para cada cultivo y el procedimiento es el siguiente:

- Cálculo del nodo correspondiente a la zona de influencia del cultivo
- Cálculo de la profundidad total del cultivo
- Cálculo de las especies químicas en la zona cultivada
- Aportación química en la superficie

▪ *Tstep*

El modelo LEACHM progresa a través de una serie de intervalos de tiempo calculados en esta rutina.

Existen diversos factores que condicionan el intervalo:

- Un valor máximo especificado en el fichero de entrada que oscila entre 0.05 a 0.01 día
- El tiempo necesario para finalizar el periodo diario
- El tiempo necesario para completar un evento de infiltración o riego calculado utilizando la densidad de flujo superficial actual
- El tiempo requerido para un flujo especificado asumiendo que la densidad de flujo máximo en el perfil se mantiene
- El tiempo necesario para los eventos especificados por el usuario como son: la impresión de ficheros, aplicaciones químicas, lluvia, etc....

Los datos de entrada requeridos para ejecutar esta rutina son: las fechas de inicio y final de la simulación, las fechas de germinación, emergencia, madurez de las raíces y de la planta, fechas de aplicaciones químicas y las fechas de los riegos y lluvias.

▪ *Etrans*

Permite calcular la evapotranspiración potencial para el intervalo de tiempo obtenido en la rutina anterior.

2. Modelos

Cuando se utiliza la opción de flujo de Addiscott los cálculos se realizan a intervalos de diez días asumiendo que la evapotranspiración es cero durante el periodo de infiltración. En el caso de utilizar la opción de flujo de Richards los cálculos se inician con el inicio de la simulación.

Se asume que la evaporación y la transpiración se inicia a las 07h12 (0.3 día) y que finaliza 12 horas más tarde, a las 19h12 (0.8 día). La densidad de flujo de la evapotranspiración potencial (ET_p mm/d) varía con la siguiente expresión:

$$ET_p = ET_{max} \text{ sen } [2\pi (t-0.3)]$$

donde, $ET_{max} = ET_p$ a las 13h12 (0.55 día) y t es la hora del día, que varía entre las 07h12 y 19h12 (ver figura 2.7).

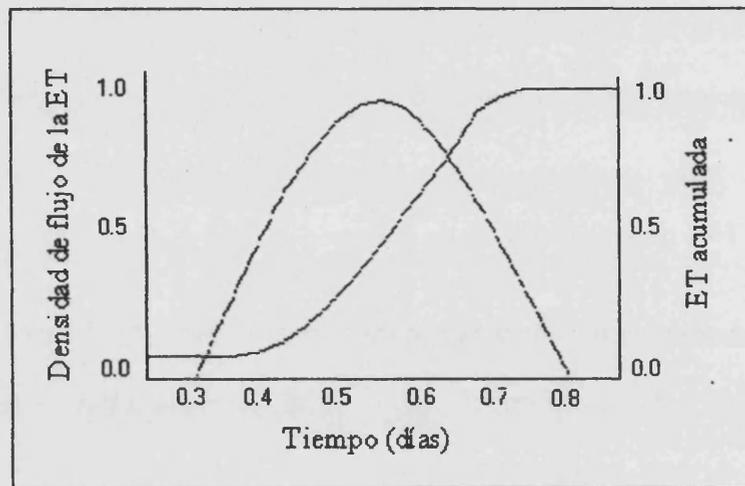


Figura 2.7. Patrón de evapotranspiración potencial diaria definida en la rutina Etrans (Hutson, 2001)

Integrando esta ecuación entre los límites de tiempo t_1 y t_2 se representa el inicio y el final para un intervalo de la fracción de evapotranspiración (f). Para calcular la evaporación potencial (E_p) y la transpiración potencial (T_p) durante el intervalo de tiempo considerado se multiplica el valor de E y T diario por la fracción de evapotranspiración.

$$E_p = f \cdot E_{\text{día}}$$

$$T_p = f \cdot T_{\text{día}}$$

La densidad de flujo de la evaporación potencial en el incremento de tiempo dado es la evaporación potencial (E_p) dividido por el incremento de tiempo. Para ello se comparan, para la máxima densidad de flujo de evaporación, los nodos 1 y 2 utilizando el potencial matricial en ese instante, la conductividad en el nodo 2 y el potencial neumático especificado para el nodo 1.

Cuando la evaporación actual está por debajo de la densidad del flujo de la evaporación potencial la transpiración potencial se incrementa, por el valor de la diferencia, hasta un valor máximo especificado en el fichero de entrada.

Los datos requeridos en esta rutina son: la evapotranspiración potencial semanal de todo el periodo de simulación y el factor de incremento de la transpiración por compensación de la evaporación específico del cultivo. El resto de los parámetros se calculan durante la ejecución del modelo.

- *Wuptak*

Esta rutina calcula la absorción de agua por las raíces. Cuando se utiliza la opción de Addiscott el cálculo se realiza diariamente, mientras que con la opción de Richards el cálculo se realiza para cada intervalo de tiempo.

El término $U(z,t)$, en la ecuación de Richards, representa el agua extraída por las raíces por unidad de tiempo debido a la transpiración. Según Nimah y Hanks (1973) el valor de la absorción de agua por las plantas en un nodo i durante el intervalo $j-1$ a j puede estimarse a partir de la siguiente ecuación:

$$U_i^{j-1/2} = [H_{raíces} + z_i(1+R_c) - h_i^{j-1/2} - s_i^{j-1/2}] [RDF_i^{j-1/2}/\Delta x \Delta z]$$

donde $U_i^{j-1/2}$ es la transpiración diaria para el nodo i , $H_{raíces}$ es el potencial efectivo del agua en las raíces en la superficie del suelo (mm), $1+R_c$ es la resistencia de las raíces especificada por el usuario, h_i es el potencial matricial del agua en el suelo (mm), s_i es el potencial osmótico, RDF es la fracción del total de raíces activas presentes a la profundidad i , K_i es la conductividad hidráulica (mm/d), z es la profundidad del nodo i y Δx es la distancia desde el punto, donde se ha medido el potencial matricial y osmótico, hasta las raíces (generalmente especificado en el código como 10 mm). Se pueden utilizar otras ecuaciones de extracción modificando el código, por ejemplo las ecuaciones propuestas por Schmidhalter et al. (1994) que se basan en la discriminación de los cloruros.

El potencial osmótico se calcula a partir de la conductividad eléctrica según la relación:

$$\psi_s = -36 \text{ CE (dS/m)}$$

Los datos requeridos en esta rutina han sido calculados en las rutinas anteriores. Estos datos son: la distribución de las raíces en crecimiento o constantes especificado en el fichero de entrada y el contenido de agua en el suelo.

2.3.2.4. Escorrentía

- *Runoff*

El cálculo de la escorrentía se realiza por el método del número de curva (USDA-SCS, 1972 modificado por Williams, 1991).

2. Modelos

Cuando la opción de flujo seleccionada es Richards los cálculos se inician en cada evento de lluvia o riego mientras que si la opción escogida es Addiscott, la escorrentía se calcula diariamente.

Según el método del número de curva, el valor del coeficiente de escorrentía (C) varía con la cuantía de la precipitación (P), creciendo a medida que la precipitación aumenta. En la figura 2.8 se muestra la relación entre la cuantía de la precipitación y la escorrentía (E).

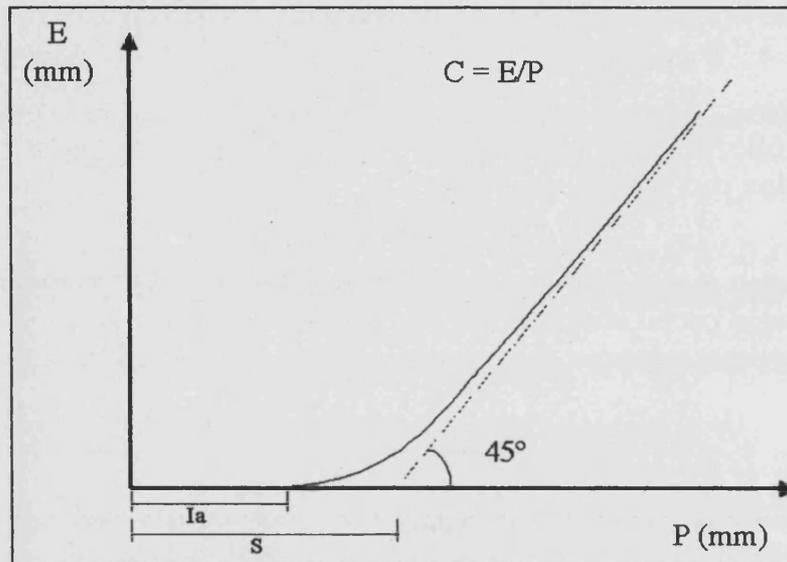


Figura 2.8. Relación entre la precipitación y la escorrentía

La escorrentía se inicia cuando la precipitación supera el valor I_a denominado “intercepción inicial”. A medida que la precipitación aumenta la escorrentía aumenta y la curva se aproxima asintóticamente a la línea discontinua que forma un ángulo de 45° con el eje de P. En cada punto la diferencia $P-E$ es la cantidad de lluvia retenida, cuyo valor máximo posible se denomina “máxima retención potencial” y se expresa por la letra S. Entre S y I_a existe la relación siguiente:

$$I_a = 0.2S$$

La relación entre la escorrentía (E) y la precipitación (P) viene definida por la expresión:

$$E = (P - I_a)^2 / (P + S - I_a)$$

Sustituyendo I_a obtendremos la expresión:

$$E = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S)$$

Estas ecuaciones sólo son válidas para valores de P comprendidos entre $I_a < P < E + S$.

Para calcular el valor máximo de retención potencial (S), aplicamos la ecuación:

$$S = [(25400/CN)-254]$$

donde CN es el número de la curva. Para calcular el valor de CN se establecen tres categorías de humedad previa: humedad en el punto de marchitez permanente (CN1), humedad a capacidad de campo (CN3) y una humedad intermedia (CN2). El valor de CN2 se obtiene en función de las características hidráulicas del suelo y la prácticas agrícolas a partir de unas tablas elaboradas por la USDA-SCS (1972) . El resto de curvas (CN1 y CN3) se relacionan con la CN2 de la siguiente forma:

$$CN1 = [CN2-20 * (100-CN2)]/[100-CN2 + EXP (2.533-0.0636*(100-CN2))]$$

$$CN3 = CN2 * EXP(0.00673*(100-CN2))$$

Sustituyendo la curva correspondiente a la condición de humedad en la ecuación del máximo de retención potencial (S), obtenemos los valores de S1, S2 y S3. La escorrentía (E) se obtiene a partir del volumen de agua (P) que corresponde al volumen de precipitación o riego. Teniendo en cuenta que el máximo de retención potencial (S) depende de las condiciones de humedad, la escorrentía estará en función del contenido de humedad del suelo en el inicio de cada evento de lluvia o riego.

Los datos necesarios para el cálculo de la escorrentía son el número de la curva que se ajusta a las condiciones previas del perfil y la pendiente. En el caso de que no exista pendiente, la rutina Runoff se omite.

Es importante tener en cuenta que la infiltración puede estar afectada no solo por las propiedades hidráulicas sino también por las características de la lluvia o del riego (duración e intensidad). El modelo LEACHM no incluye directamente en su código estos efectos, sin embargo el código se puede modificar.

2.3.2.5. Transporte de agua y solutos

Para simular el transporte de agua en el suelo, el modelo LEACHM presenta dos opciones: Addiscott y la ecuación de Richards. Si la opción escogida es Addiscott el modelo utiliza la rutina Calf tanto para simular el transporte de agua como para el transporte de solutos. Sin embargo si la opción elegida es Richards, el modelo utilizará una rutina para simular el transporte de agua (rutina Watflo) y otra para el transporte de solutos (rutina Solc).

La figura 2.9 representa los procesos químicos que se encuentran incluidos en el LEACHC.

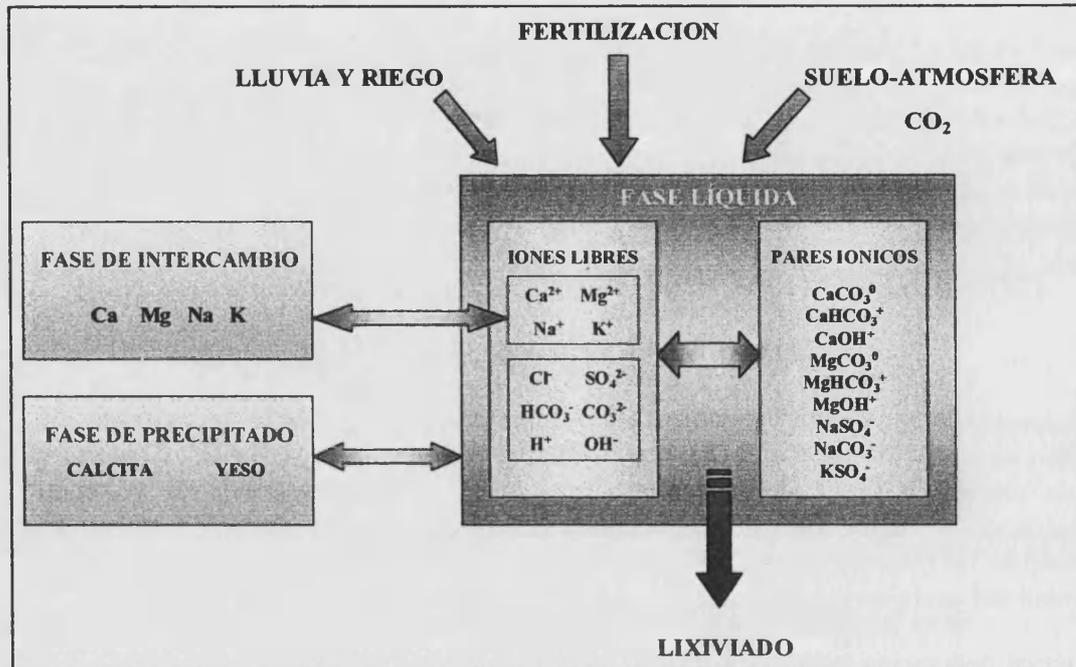


Figura 2.9. Procesos químicos simulados en el LEACHC

▪ *Watflo*

La rutina *Watflo* describe el flujo de agua de acuerdo con la ecuación de Richards. Esta ecuación se deriva de la ley de Darcy y de la ecuación de continuidad:

$$\partial\theta/\partial t = \partial/\partial z [K(\theta) \partial H/\partial z] - U(z,t)$$

donde, θ es el contenido de humedad en volumen ($m^3 m^{-3}$), H es la carga hidráulica (mm), K es la conductividad hidráulica (mm/d), t es el tiempo (d), z es la profundidad (mm) y U es la extracción de agua debida a la transpiración calculada en la rutina *Wuptak*.

Si la variación de la humedad del suelo $C(\theta)$ es:

$$C(\theta) = \partial\theta/\partial h$$

donde h es la presión de agua en el suelo. Entonces la ecuación de continuidad se puede transformar en otra ecuación en la que la variable dependiente sea el potencial de presión:

$$(\partial h/\partial t) C(\theta) = \partial/\partial z [K(\theta) \partial H/\partial z] - U(z,t)$$

Para simular el flujo y la redistribución del agua en el suelo aplicando el cálculo diferencial, el perfil se divide en segmentos y el tiempo en intervalos. Los intervalos de tiempo pueden ser distintos unos de otros, mientras que los segmentos del perfil son iguales. Los nodos

superior e inferior se encuentran fuera de los límites del perfil, sin embargo, se utilizan para mantener definidas las condiciones de los límites del perfil.

El cálculo se realiza mediante derivadas parciales utilizando el método de Crank-Nicolson (1947) obteniéndose la ecuación que describe el cambio en el contenido de agua durante un intervalo de tiempo para el nodo considerado. Para cada nodo e intervalo se obtienen ecuaciones similares. Como el potencial de presión en el inicio del intervalo es conocido el sistema de ecuaciones se puede resolver por el método de Gauss, a partir de la construcción de una matriz simétrica triangular y calcular el potencial en cada nodo al final del intervalo.

En cuanto al sentido del flujo de agua entre dos nodos puede ser ascendente (flujo de agua positivo) o descendente (flujo de agua negativo).

La densidad de flujo (q) se relaciona con el flujo de agua mediante la ecuación:

$$q = W / At$$

donde W representa el flujo de agua entre dos nodos y At el intervalo de tiempo.

Las condiciones de los límites superior e inferior se deben especificar en el fichero de entrada. En el caso del límite superior, ajustando el potencial de presión se puede simular la infiltración ponderada o no ponderada, la evaporación o el flujo cero. Durante la infiltración ponderada, el potencial de presión del primer nodo se fija en 0 y mientras la infiltrabilidad del suelo sea mayor que el flujo de infiltración especificado, el flujo se mantiene constante.

Para fijar las condiciones del límite inferior se pueden seleccionar varias opciones en el fichero de entrada que son: presencia de nivel freático constante, nivel freático variable, drenaje libre y flujo cero.

En el caso de presencia de nivel freático constante se fijará un valor de potencial de presión para el nodo inferior según la ecuación:

$$h = \text{Profundidad perfil} - \text{nivel freático} + \Delta z/2$$

En caso de que la condición del límite inferior sea la opción de drenaje libre, el valor del gradiente de potencial hidráulico será aproximadamente 1. Cuando la opción seleccionada sea flujo cero el gradiente de potencial hidráulico será cero. Para simular un lisímetro se combinan las condiciones de potencial constante y flujo cero produciéndose el drenaje cuando la última capa está saturada o el potencial es mayor que la succión del sistema de drenaje. Por último, cuando hay presencia de nivel freático fluctuante se debe especificar la profundidad del nivel freático semanal en el archivo de entrada y el modelo calcula el nivel freático a cada intervalo de tiempo por interpolación lineal de los valores semanales.

Tanto la ley de Darcy como la ecuación de Richards tienen algunas limitaciones. En primer lugar los datos necesarios no son fácilmente calculados, especialmente la conductividad hidráulica. Segundo, los procedimientos de solución numérica consumen mucho tiempo, aunque se han desarrollado procedimientos más rápidos (Ross, 1990) que se basan en las

2. Modelos

soluciones técnicas de Newton-Raphson pero utilizan intervalos de tiempo mayores. En tercer lugar, la ecuación de Richards se aplica asumiendo suelos horizontalmente homogéneos sin fuerte estructura y sin canales de flujo preferencial tales como grietas y agujeros ocasionados por lombrices.

Los datos requeridos por el modelo son la conductividad hidráulica saturada y la humedad de campo inicial o el potencial de presión correspondiente. A partir de estos datos de inicio, en la rutina Redpred, se definen las funciones $K-\theta-h$ que van a ser utilizadas en la aplicación de la ecuación de Richards. También es necesario definir las condiciones de los límites del perfil, así como los eventos de lluvia y riego y la evapotranspiración potencial. El valor de la evapotranspiración actual para cada nodo e intervalo de tiempo se ha calculado previamente en la rutina Potet.

▪ *Solc*

Tras la estimación del flujo del agua con la rutina Watflo, el flujo químico se calcula utilizando la ecuación de convección-dispersión (ECD) incluida en la rutina Solc. Esta rutina solamente se ejecuta si el modelo de flujo seleccionado es el modelo de Richards.

El movimiento de solutos está compuesto de cuatro procesos:

- Difusión en fase líquida debida al gradiente de concentración
- Difusión en fase gaseosa, en caso de especies químicas volátiles.
- Convección (flujo de masas) debido al movimiento del agua con sales disueltas
- Convección en fase gaseosa debida a las fluctuaciones de la presión, los ciclos de humectación-deseccación y las fluctuaciones de la capa freática

Combinando las ecuaciones de estos cuatro procesos se obtiene una expresión para el flujo de solutos (J_s) (Van Genuchten & Wierenga, 1986).

$$J_s = J_{DL} + J_{CL} + J_{DG} + J_{CG}$$

donde J_s es el flujo total de solutos ($\text{mg m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), J_{DL} es el flujo de difusión en la fase líquida, J_{CL} es el flujo de convección en la fase líquida, J_{DG} es el flujo de difusión en la fase gaseosa y J_{CG} es el flujo de convección en la fase gaseosa.

La densidad del flujo de difusión en ambas fases se representa mediante la ley de Fick:

$$J_D = -D_0 \text{ dc/dz}$$

donde D_0 es el coeficiente de difusión iónico o molecular en la solución acuosa o en el aire y c es la concentración de la especie química (mg dm^{-3}).

La distribución del soluto entre la fase de adsorción, la fase gaseosa y la fase líquida se basa en una isoterma de adsorción lineal de manera que la que la concentración de la sustancia adsorbida es proporcional a la concentración en la solución:

$$c_s = K_d c_L$$

donde c_s es la concentración de la especie química en la fase de adsorción (mg/kg), c_L es la concentración en la solución (mg dm⁻³) y K_d es un coeficiente de distribución (dm³ kg⁻¹).

Hay que tener en cuenta que muchas especies químicas no tienen una adsorción lineal, por ejemplo los pesticidas que tienen isothermas curvilíneas descritas por Freudlich y Langmuir (Atkins, 1999).

El valor del coeficiente de distribución puede variar con la profundidad y la especie química. En el caso de pesticidas este coeficiente se puede calcular a partir de la fracción de carbón orgánico.

Cuando hay presencia de componentes volátiles es necesario establecer el coeficiente de distribución entre la fase gaseosa y la fase líquida. Esta distribución se basa en una la ley de Henry modificada por Jury et al. (1983):

$$c_G = K_H^* c_L$$

K_H^* es la constante de Henry modificada y se define como la densidad de saturación de vapor (c_G) de los componentes dividido por la solubilidad en agua (c_L).

La cantidad total de sustancia (c_T) en las tres fases en un volumen de 1 dm³ es:

$$c_T = \rho c_s + \theta c_L + \varepsilon c_G$$

donde ρ es la densidad aparente (kg dm⁻³), θ es el contenido volumétrico de agua en el suelo, ε es el aire del suelo calculado por diferencia entre la porosidad y el contenido volumétrico de agua en el suelo y c_G es la concentración en la fase gaseosa. Sustituyendo la ecuación de la isoterma de adsorción y la ley de Henry en esta expresión obtenemos la siguiente ecuación:

$$c_T = c_L(\rho K_d + \theta + \varepsilon K_H)$$

– Ecuaciones básicas de difusión y convección:

En el caso de la difusión en la fase líquida la ley de Fick quedaría expresada mediante la ecuación:

$$J_{DL} = -D_p \theta (dc_L/dz)$$

El valor de D_p se estima a partir de la ecuación de Kemper y Van Schaik (1966):

$$D_p \theta = D_{OLa} \exp(b\theta)$$

2. Modelos

donde D_{OL} es el coeficiente de difusión en la fase líquida pura y a y b son constantes empíricas.

El flujo de convección de solutos en la fase líquida se representa mediante la expresión:

$$J_{CL} = -\theta D_M(q) dc_L/dz + qc_L$$

donde q es el flujo macroscópico de agua y $D_M(q)$ es el coeficiente mecánico de dispersión debidas a las variaciones de velocidad del flujo de agua. Este valor se puede estimar a partir de la velocidad del agua en los poros y la dispersividad según la ecuación:

$$D_M(v) = \lambda|v|$$

donde v es la velocidad del agua en los poros y λ es la dispersividad, limitada en el LEACHM al rango de valores $(0.5\Delta z - 2\Delta z)$.

La dispersividad es un parámetro hidrodinámico, que depende del medio, y que caracteriza la dispersión de un soluto en un medio poroso. La dispersión longitudinal está relacionada con variaciones en la velocidad del flujo de agua debidas a la variabilidad en el tamaño de los poros y a la tortuosidad del sistema poroso (ver figura 2.10). El modelo LEACHM no tiene en cuenta la dispersión lateral, no obstante esta es en general, menor que la dispersión longitudinal (Anderson, 1979).

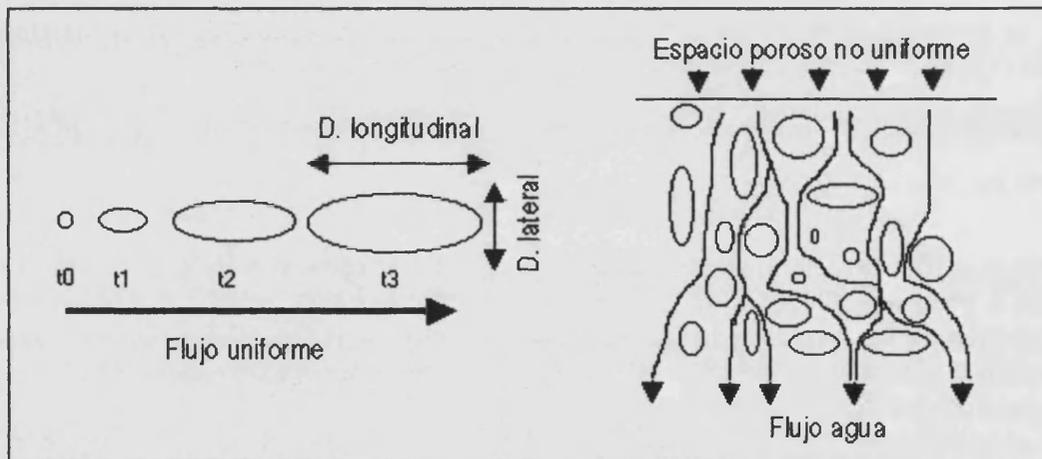


Figura 2.10. Dispersión longitudinal y lateral y flujo del agua a través del espacio poroso (Drever, 1997)

El coeficiente de dispersión puede medirse a partir de la concentración de los solutos en el perfil y en la fracción de lixiviado de columnas experimentales (Anderson & Woessner, 1992; Beven et al., 1993; Álvarez-Benedi et al., 1999). Los valores de dispersividad obtenidos en las columnas experimentales oscilan entre 80 mm para suelos arenosos y 128 mm para suelos arcillosos (Perfect et al., 2002). Los valores obtenidos en el campo utilizando métodos trazadores son mayores (Anderson, 1979). La porosidad y el grado de uniformidad del tamaño de las partículas del suelo son los factores que más influyen en la

dispersividad. Ésta es directamente proporcional al coeficiente de uniformidad e inversamente proporcional a la porosidad (Xu & Eckstein, 1997).

En el caso de la difusión en la fase gaseosa el flujo de difusión puede calcularse a partir del gradiente de concentración acuoso según la ecuación:

$$J_{DG} = -D_{OG} K_H^* dc_L/dz$$

donde D_{OG} es el coeficiente de difusión gaseosa en aire (mm^2d^{-1}) y depende de la tortuosidad.

En cuanto a la convección en fase gaseosa los cambios en el contenido de agua del suelo y la presión pueden ocasionar flujos de aire en el suelo modificando el coeficiente de difusión gaseosa.

– Ecuación de convección-dispersión (ECD):

La mayoría de situaciones de transporte químico suceden en condiciones transitorias de flujo de agua. Bajo estas condiciones el flujo y el contenido de agua varía con la profundidad y el tiempo, por ello se utiliza la relación de continuidad de masas:

$$\partial c_T / \partial t = -\partial J_s / \partial z \pm \Phi$$

donde c_T es la concentración total de solutos en todas las fases y Φ representa fuentes inespecíficas de pérdida de solutos.

Sustituyendo en las ecuaciones anteriores obtenemos la ecuación general de transporte para el movimiento de solutos:

$$\partial c_L / \partial t (\rho K_d + \theta + \epsilon K_H) = \partial / \partial z [\theta D(\theta, q) (\partial c_L / \partial z) - qc_L] \pm \Phi$$

La dirección del flujo de agua es importante para determinar la dirección del transporte de solutos y la concentración en cada nodo. En la figura 2.11 se representan algunas direcciones en el transporte de agua y su influencia sobre la concentración.

El procedimiento del cálculo diferencial se basa en Bresler (1973) y ha sido modificado por Tillotson et al. (1980). Este procedimiento está descrito en el manual del LEACHM (Hutson, 2001).

El desarrollo matemático genera errores de dispersión numérica que pueden minimizarse mediante el ajuste de los parámetros de dispersividad y el intervalo de tiempo para los cálculos químicos. Comparaciones de las curvas de ruptura de solutos con CXTFIT (Parker & Van Genuchten, 1984) indican que cuando la dispersividad es 0 el error es aproximadamente $0.5\Delta z$ y que no hay error cuando la dispersividad es $2\Delta z$. Para ajustar la dispersividad especificada a los valores estimados por CXTFIT se utiliza la ecuación siguiente:

$$\lambda_{usada} = -0.84 + 1.264\lambda_{especificada} - 0.6458 * \Delta z \quad (R^2 = 99.8\%)$$

2. Modelos

En la última versión de LEACHM, desarrollada específicamente en respuesta a los problemas experimentales en la simulación del transporte químico no en equilibrio, la rutina de transporte ha sido reexaminada y se ha decidido utilizar una aproximación Crank-Nicolson de diferencia central ya que este procedimiento está libre de dispersión numérica.

Esta rutina también considera las condiciones de los límites superior e inferior de manera que en caso de flujo cero, con presencia de capa freática, durante el periodo de evaporación superficial se produce una acumulación de solutos en el segmento superior provenientes del segmento inferior. Durante la infiltración la concentración en el nodo 1 es igual a la concentración en el agua y no se tiene en cuenta la difusión, incrementándose temporalmente el contenido de agua para mantener el balance de masas. En el nodo inferior la concentración de solutos es igual a la concentración del agua subterránea, estos cálculos se realizan en la rutina Cellc.

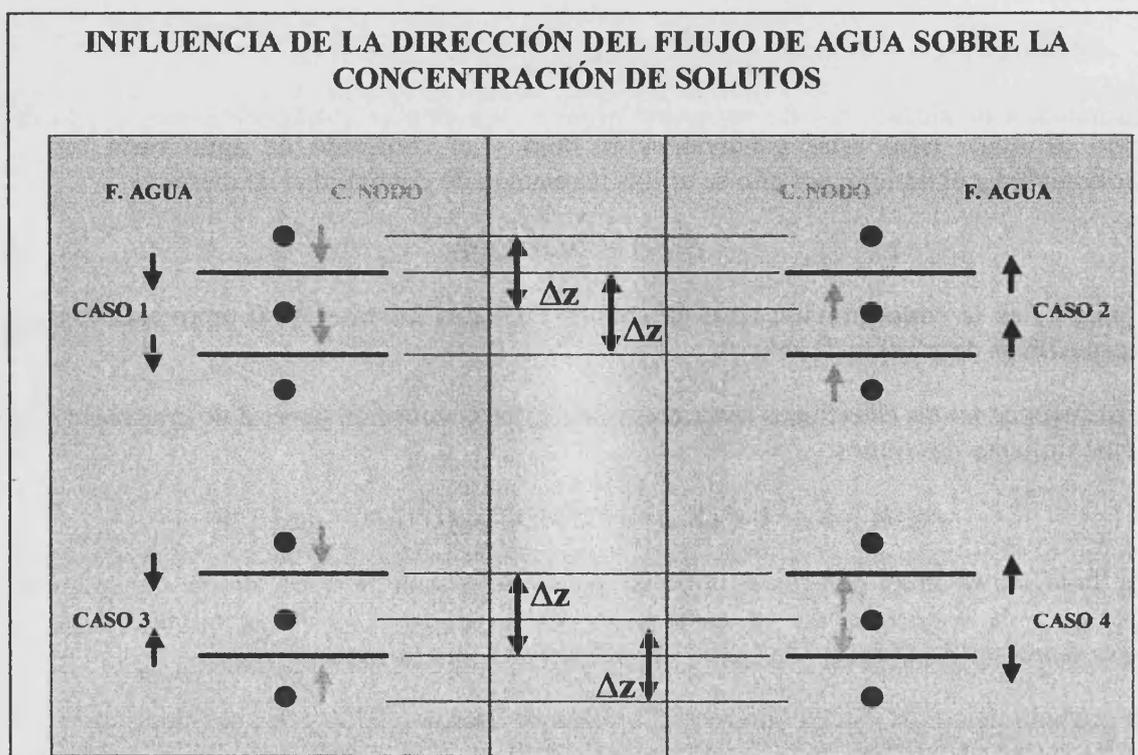


Figura 2.11. Influencia de la dirección del flujo de agua sobre la concentración de solutos.

▪ *Calfc*

Esta rutina se ejecuta cuando la opción de flujo de agua seleccionada es la opción de Addiscott, por tanto sustituye a las rutinas Watflo y Solfc (opción de Richards) y simula al mismo tiempo el movimiento del agua y de los solutos en el suelo.

El modelo de capacidad de Addiscott (Addiscott, 1977; Addiscott & Wagenet, 1985) divide el agua del suelo en dos fases: una fase móvil, en la que se produce el transporte y otra fase

inmóvil. Tras la lluvia o riego el agua infiltrada disuelve las sales en la fase móvil, posteriormente se produce el equilibrio entre la fase móvil e inmóvil en cada segmento del modelo y entre los segmentos adyacentes.

Los datos necesarios para la ejecución de esta rutina son: los contenidos de humedad a capacidad de campo (W_f) y en el punto de marchitez permanente (W_{wp}), el intervalo de la fase móvil (W_d) y el límite de evaporación o aire seco (W_a). Estos contenidos de humedad se calculan a partir de las curvas de humedad usando potenciales matriciales definidos en el modelo. W_d es el intervalo de la fase móvil del agua especificado en el fichero de entrada y el límite de evaporación se obtiene de los primeros 50 mm.

En la tabla 2.6 se indican las diferencias en el procedimiento de cálculo del movimiento de agua y sales entre la opción de Addiscott y Richards.

Tabla 2.6. Comparación de las rutinas Calfc, Watflo y Solc.

PROCESO	CALFC	WATFLO/SOLC
Tipo de modelo	Funcional	Mecanístico
Método numérico	Compartimentación	Diferencia finita
Modelo de flujo	Addiscott	Richards
Redistribución	Gradiente de potencial de agua	Ecuación de Richards
Transporte de solutos	Convección (fase móvil-inmóvil)	Convección-dispersión
Evaporación	50 mm superiores	Condición del flujo superficial
Transpiración	Distribución radicular y ley de Darcy	

Los cálculos de la rutina Calfc se realizan para cada intervalo de tiempo. El procedimiento de cálculo es el siguiente:

- Cálculo de la evapotranspiración en cada segmento
- Partición química entre las fases de adsorción, disolución y precipitación, asumiendo el equilibrio completo entre la fase móvil e inmóvil.
- Cálculo de la fracción de lixiviado durante la lluvia o riego
- Redistribución vertical del agua y las sales de acuerdo con el potencial hídrico y las diferencias de concentración
- Repetición de la partición química
- Chequeo del balance de masas e impresión de datos

2. Modelos

El cálculo de la fracción de lixiviado se produce durante los eventos de lluvia o riego y cuando hay aplicación de fertilizantes químicos. Para ello se consideran los contenidos de humedad (W_i y W_m) y las concentraciones de solutos (C_i y C_m) en cada fase al inicio del evento y se calculan las nuevas condiciones de humedad (W_i' y W_m') y concentración (C_i' y C_m') para cada segmento, teniendo en cuenta la cantidad de agua que se mueve entre los segmentos. La cantidad de agua que progresa a través de los segmentos (W_p) disminuirá con la profundidad, ya que va quedando retenida en los segmentos superiores (W_p').

Tras la adición de agua se produce un incremento en los contenidos de agua de ambas fases y esto provoca cambios en la concentración de solutos según las siguientes ecuaciones:

$$W_i' = W_i + \min(W_d - W_i, W_p)$$

$$W_p' = W_p - \min(W_d - W_i, W_p)$$

$$C_i' = [C_p(W_i' - W_i) + C_i]/W_i$$

$$W_m' = W_m + W_p'$$

$$C_m' = [C_p(W_m' - W_m) + C_m W_m]/W_m'$$

Si el contenido de humedad entre ambas fases es superior a la humedad a capacidad de campo ($(W_m' + W_i) > W_{fc}$), la diferencia es el contenido de agua que progresa hacia el siguiente segmento (W_p'). De esta forma parte de los solutos se disuelven y se desplazan hacia el nodo inferior.

Cuando la suma entre los contenidos de humedad de ambas fases es menor a la humedad a capacidad de campo, lo cual ocurre con posterioridad al evento de lluvia o riego, se produce la redistribución y equilibrio entre las fases. En este proceso se calcula la cantidad de agua que se mueve entre los nodos y la disolución de las sales.

▪ *Cellc*

Esta rutina se ejecuta inmediatamente después de la rutina de transporte Solc, pero solamente si aparece una zona saturada de agua en la que se producen movimientos de ascenso y descenso capilar. Esto también sucede cuando la condición especificada para el límite inferior es la presencia del nivel freático. Conceptualmente la celda de mezclado corresponde a una profundidad fija de agua con ganancia de solutos cuando el drenaje es hacia abajo y pérdida de solutos cuando asciende por capilaridad.

El total de solutos en la celda de mezclado (c_T , mg m^{-2}) se calcula:

$$c_T = c_{\text{cell}} \cdot Z_w$$

donde c_{cell} es la concentración de solutos en la celda (mg L^{-1}) y Z_w es la profundidad del agua en la celda. Durante los intervalos de tiempo en que el flujo de agua es descendente, los cambios en la concentración se calculan:

$$\Delta c_T = c_k \cdot q_w$$

donde c_k es la concentración de sales. Si el flujo es ascendente entonces:

$$c_k = c_T / Z_w$$

Las concentraciones iónicas de la zona de mezclado se especifican en el fichero de entrada.

▪ Equilibrio químico: Chem.for y Equilchm.for

El equilibrio químico se compone de dos subrutinas: Chem.for y Equilchm.for. En el programa LEACHC cada especie química es transportada por difusión y convección durante cada intervalo de tiempo, sin embargo el equilibrio entre las tres fases se calcula a otros intervalos fijados por el usuario. Las especies químicas tratadas en esta versión son Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , H^+ , OH^- y sus pares iónicos mayoritarios según la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Especies químicas consideradas por la rutina Chem.

ESPECIES QUÍMICAS CONSIDERADAS EN LA RUTINA CHEM.FOR									
SOLUBLES						INTERCAMBIO	PRECIPITADO		
H^+	OH^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-				
Ca^{2+}	CaOH^+	CaCO_3^0	CaHCO_3^+	CaSO_4^0		XCa	CaSO_4	CaCO_3	
Mg^{2+}	MgOH^+	MgCO_3^0	MgHCO_3^+	MgSO_4^0		XMg			
Na^+		NaCO_3^-		NaSO_4^-		Xna			
K^+				KSO_4^-		XK			

El intercambio catiónico, los procesos de precipitación-disolución y el intercambio con la atmósfera se describen separadamente en la rutina denominada Chem.for. Tras el transporte de la fase en disolución se establece un equilibrio con la calcita, el yeso, PCO_2 y la fase de intercambio (Snoeyink & Yenkin, 1987; Sparks, 1998). Cuando el flujo de solutos entre intervalos de tiempo es pequeño no es necesario ejecutar las rutinas de equilibrio.

La rutina Chem.for asume que la solución del suelo para cada incremento de profundidad es un sistema abierto respecto al dióxido de carbono, de manera que los niveles de CO_2 pueden variar con la profundidad pero no con el tiempo. La distribución de los niveles de CO_2 se especifica en el fichero de entrada del LEACHC. Por otra parte la constante de Henry (K_H) se asume como independiente de la temperatura y de la concentración de sales. Todas las constantes de equilibrio se han tomado de Adams (1973) o Lindsay (1979) excepto el producto de actividad iónica para el CaCO_3 que se ha tomado de Suarez (1977). Estos valores pueden ser modificados dentro de esta rutina.

2. Modelos

La rutina de equilibrio químico ajusta la composición de la solución y de la fase adsorbida satisfaciendo las siguientes constantes de equilibrio termodinámico:

- La constante de Henry para CO₂

$$K_{a1} = (H^+) (HCO_3^-) / (H_2CO_3)$$

$$(H_2CO_3) = P_{CO_2} \times K_h$$

$$K_{a1} \times P_{CO_2} \times K_h = (H^+) (HCO_3^-)$$

- La primera y segunda constante de disociación del H₂CO₃

$$K_{a1} = (H^+) (HCO_3^-) / (H_2CO_3)$$

$$K_{a2} = (H^+) (CO_3^{2-}) / (HCO_3^-)$$

- La constante de disociación del agua

$$K_w = (H^+) (OH^-)$$

- Los productos de solubilidad del yeso y la calcita

$$K_{sp1} = (Ca^{2+}) (SO_4^{2-})$$

$$K_{sp2} = (Ca^{2+}) (CO_3^{2-})$$

- Las constantes de estabilidad de los pares iónicos

$$K_f = (Cat^{m+}) (An^{n-}) / (CatAn^{m-n})$$

- La actividad basada en los coeficientes de Gapon (Robbins et al., 1980)

$$K_G = ((M^{m+})^{1/m} XN_{1/n}) / ((N^{n+})^{1/n} XM_{1/m})$$

El modelo asume que la capacidad de intercambio catiónico y los coeficientes de selectividad son constantes a todos los pH y valores de fuerza iónica, por tanto no tiene en cuenta el desarrollo de carga variable dependiente del pH (Bloom, 2000). Por otra parte la capacidad de intercambio catiónico se considera igual a la suma de los cationes de intercambio.

El procedimiento de cálculo de la composición en el equilibrio químico es el siguiente:

- Cálculo de la fuerza iónica

$$\mu = 0.5 \sum c_i z_i^2$$

donde μ es la fuerza iónica, c_i es la concentración del ión (mol dm^{-3}), z_i es la valencia y Σ indica la suma de todas las especies iónicas en solución. Inicialmente la fuerza iónica se calcula a partir del análisis de la concentración total

- Cálculo de los coeficientes de actividad para iones mono y divalentes

$$\text{Log } \gamma_i = -0.509 Z_i^2 (\mu^{1/2}/1.0 + \mu^{1/2}) - 0.31$$

- Cálculo de las constantes del equilibrio condicional a partir de las constantes de equilibrio termodinámicas y la actividad actual.
- Cálculo de las concentraciones de $[\text{HCO}_3^-]$, $[\text{CO}_3^{2-}]$, $[\text{Ca}^{2+}]$ y $[\text{SO}_4^{2-}]$ a partir del pH y el nivel de pCO_2 fijado.
- Distribución de cationes entre las fases de intercambio y la solución satisfaciendo los coeficientes de Gapon.

El proceso se repite en cada intervalo hasta que la composición de la solución se estabiliza.

La conductividad eléctrica de la solución (CE, mS/cm) se calcula a partir de concentraciones iónicas individuales utilizando dos ecuaciones. El primer método se basa en McNeal et al. (1970) y el segundo está descrito por la ecuación de Marion y Babcock (Spósito, 1989) y se basa en la ecuación modificada de Onsager-Fuoss.

En el cálculo del equilibrio químico hay tres posibles vías que se especifican en el fichero de entrada, asumiendo que los datos analíticos iniciales están en equilibrio. Si los coeficientes de selectividad son conocidos la rutina Chem.for calcula la composición en equilibrio a partir de la suma de los cationes solubles y de intercambio. Si los cationes solubles y de intercambio están en equilibrio la rutina calcula los coeficientes de selectividad. Por último si los coeficientes de selectividad y los cationes solubles están en equilibrio la rutina calcula los cationes de intercambio.

Es importante tener en cuenta que los valores analíticos iniciales se toman a partir del extracto de saturación de manera que el contenido de humedad puede ser diferente al de inicio de la simulación debiéndose recalcular esta composición a las condiciones de humedad correspondientes. Para ello se dispone del programa CHEMEQ que permite realizar estos cálculos previamente a la introducción de los datos en el fichero de entrada. Por otra parte este programa permite hacer los nuevos cálculos teniendo en cuenta la pCO_2 y la densidad aparente.

2.3.2.6. Formato de fechas

La rutina *Cadate* se ejecuta al inicio de cada día para incrementar la fecha. Las simulaciones se pueden realizar para un periodo de simulación menor a 100 años. El formato de las fechas debe seleccionarse en el fichero de entrada.

2. Modelos

La rutina *Daycalc* calcula el número de días a partir de las fechas especificadas. Los números menores que 010100 se consideran el número de día mientras que números mayores se consideran como fechas y con esta rutina se transforman en número de días.

2.3.3. Ficheros de salida

2.3.3.1. Fichero detallado (*.OUT)

Este fichero se imprime para intervalos de tiempo especificados o para fechas concretas. Está compuesto de diversas tablas separadas:

- Tabla con datos de retención de agua y conductividad hidráulica del perfil
- Resumen del balance de masas acumulativo para el conjunto del perfil
- Contenido químico, hídrico, potencial y flujos en los nodos del perfil
- Desarrollo de la vegetación, nutrición y transpiración

En el fichero de entrada se pueden seleccionar las tablas a imprimir.

2.3.3.2. Fichero resumen (*.SUM)

El archivo resumen contiene un registro por impresión. El intervalo de impresión puede ser definido por el usuario.

El perfil se divide en tres secciones que pueden ser definidas por el usuario, haciéndolas corresponder con los horizontes del mismo o por defecto en partes iguales. Para establecer la cuarta sección se puede seleccionar entre la zona radicular, el conjunto del perfil, límite inferior o el límite de la capa freática.

Cada registro contiene de forma acumulativa el tiempo transcurrido, los aportes de agua (riego + lluvia), la transpiración actual, la evaporación y los flujos químicos para las cuatro secciones consideradas. El flujo de agua también se presenta para la superficie del perfil y los contenidos de agua y de solutos se representan para las cuatro capas del perfil.

2.3.3.3. Fichero de curvas de ruptura (*.BTC)

Este fichero recoge un listado de los flujos de agua y solutos del lixiviado. Se utiliza normalmente para registrar las salidas en columnas de laboratorio y para registrar el lixiviado de los perfiles en el campo.

Estos datos tienen poco sentido cuando el agua del suelo asciende por el perfil como por ejemplo en el caso de presencia de agua freática.

Los datos impresos en este fichero son: fracción de tiempo, flujo acumulado de agua, concentraciones de flujo promediado para cada especie química y masa acumulada de los solutos lixiviados.

2.4. CHEMEQ, WATSUIT y CROPWAT

2.4.1. CHEMEQ

Es un modelo de especiación química que permite calcular la composición de la solución del suelo a diferentes contenidos de agua, densidad aparente y pCO_2 teniendo en cuenta el equilibrio con la fase de intercambio del suelo, la calcita y el yeso. También permite calcular los coeficientes de selectividad y la composición de la fase de intercambio (Hutson, 2001).

Además, el modelo puede realizar la dilución y/o concentración del agua sin tener en cuenta las reacciones con el suelo.

Este programa está incluido junto con el LEACHM y se utiliza para recalculer la composición de la solución obtenida a partir del extracto de saturación a las condiciones iniciales del campo. Estos datos se utilizan para confeccionar el fichero de entrada del LEACHC.

En el procedimiento de validación se utiliza para transformar los resultados de la simulación a las condiciones de las medidas analizadas (condiciones de saturación) y establecer comparaciones.

2.4.2. WATSUIT

Los modelos dinámicos son capaces de predecir la sostenibilidad del uso de diferentes calidades de agua ya que incorporan procesos y relaciones entre la mayoría de las variables que influyen en la respuesta del cultivo a la salinidad. Sin embargo la mayoría de las entradas requeridas no están disponibles y ello puede generar una incertidumbre en los resultados.

Por estas razones, en algunas circunstancias, el uso de modelos conceptualmente inferiores pueden servir de referencia y aproximación a la evaluación del manejo sostenible de aguas salinas para el riego. La composición en un estado estático representa el peor de los casos que puede resultar del riego con un agua determinada.

El modelo WATSUIT es un modelo estático sencillo que permite evaluar la sostenibilidad del agua de riego bajo una condición de referencia en la peor situación posible que puede resultar de su uso.

El modelo WATSUIT predice la concentración de los cationes y aniones mayoritarios en el agua dentro de la zona radicular en equilibrio como una función de la composición del agua de riego, la fracción de drenaje, la presencia o ausencia de carbonato cálcico en el suelo y algunos tratamientos alternativos prediciendo también el RAS, pH y CE en la superficie del suelo. El modelo relaciona la precipitación y disolución de los minerales importantes

2. Modelos

(calcita y yeso) con la composición de la solución del suelo en la zona radicular. La precipitación de sales y el estado de los minerales tienen efectos sobre los niveles de salinidad del agua del suelo dependiendo de la composición del agua de riego y de la fracción de drenaje. La magnitud de estos efectos puede evaluarse usando los resultados del WATSUIT. Los detalles sobre las asunciones y relaciones que comprende este modelo se han tomado de Rhoades (1972; 1977; 1984; 1987; 1988) y Oster y Rhoades (1990). Las ecuaciones básicas así como el procedimiento de cálculo de la fracción de drenaje y la conductividad eléctrica en cada segmento de la zona radicular y la conductividad media de la zona radicular se describe detalladamente en Rhoades y Merrill (1976) y en Ayers y Westcot (1985).

La predicción de la conveniencia del uso de un agua para el riego se obtiene de la comparación de la composición estimada del agua del suelo, la salinidad y la sodicidad obtenidas en el WATSUIT con los valores standarizados de los criterios de salinidad, permeabilidad, encostramiento y toxicidad. El efecto de la frecuencia de riego es indirectamente tomado como referencia al utilizar diferentes índices de salinidad para juzgar el riesgo potencial de salinidad. El efecto de la salinidad sobre la producción del cultivo bajo riego frecuente cuando existe un potencial matricial muy bajo se evalúa utilizando el potencial, la conductividad eléctrica del agua extraída o la conductividad eléctrica superior del perfil. En el caso de un riego no frecuente donde aparece un potencial matricial durante el intervalo de riegos se utiliza la conductividad media del perfil para evaluar la existencia de un problema de salinidad. Para evaluar problemas de toxicidad se utilizan las concentraciones de iones potencialmente tóxicos (Cl⁻ y B⁻) en lugar de la conductividad eléctrica y para evaluar el balance de nutrición los criterios utilizados son las concentraciones de Ca²⁺, que deben ser mayores de 2 mmol/l y la relación Ca²⁺/Mg²⁺ que debe ser mayor de 1. Por otra parte para evaluar los problemas de permeabilidad y encostramiento se comparan el RAS y CE de la superficie del suelo del agua de infiltración con el RAS apropiado menos la conductividad eléctrica umbral relacionada con el tipo de suelo. Los beneficios de las mejoras se evalúan examinando la composición estimada con los tratamientos y entre tratamientos.

La salinidad del suelo se evalúa como un problema probable si el índice apropiado de la predicción de la zona radicular excede de la tolerancia del cultivo para su crecimiento. Cada especie de planta tiene un valor umbral que viene definido en las tablas de Maas-Hofmman, a partir de este valor cae la producción del cultivo. En algunos casos se puede tolerar una reducción en la cosecha y el valor de tolerancia de la salinidad aumenta de manera que pueden utilizarse valores superiores como valores adecuados en lugar de los valores umbrales. Las tablas de tolerancia de salinidad se expresan en términos de CEe sin embargo las predicciones del WATSUIT se expresan en términos de agua del suelo a capacidad de campo de forma que es necesario realizar algunas correcciones para establecer las comparaciones. Se pueden utilizar las siguientes relaciones:

$$CEe \approx \frac{1}{2} CEsw$$

$$CE \approx 0.1 C$$

$$\pi \approx 0.39 CE$$

donde CE se expresa en dS/m, C en mmol/l y π en kPa.

Los problemas de toxicidad se evalúan análogamente utilizando la concentración calculada de los iones y los umbrales de toxicidad de las plantas.

En el caso de la permeabilidad y el encostramiento se juzga el posible problema si la combinación del RAS y pH próximo a la superficie y CE del agua de riego pueden ocasionar una dispersión de arcillas y problemas de permeabilidad. Los beneficios de las mejoras se evalúan basándose en sus efectos sobre la CE, RAS y pH. Las directrices de la FAO constatan que las aguas de muy bajo RAS provocan dispersión coloidal cuando su carga salina no supera un determinado valor umbral (valor de floculación). Así, la aplicación al suelo de aguas de RAS = 0.0-3.0 y CE < 0.3 dS/m es causa probable de aparición de trastornos de infiltración debidos a la naturaleza oligosalina de las aguas ya que al incrementarse la CE > 0.7 dS/m se anulan dichos problemas aún manteniendo constante la sodicidad (Singer, 1992; López & Vidal, 2000).

La parte química del modelo se utiliza para evaluar la adecuada nutrición de calcio utilizando las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} y su distribución así como el RAS y CE de la zona radicular. Esto es importante porque exista o no una condición de sodicidad en el suelo la nutrición del cultivo se ve influenciada por la concentración total de sales (Bernstein, 1974; Rhoades, 1982). Si el suelo es salino o si la concentración de calcio excede de 2 mmol/l un elevado nivel de RAS puede tener un pequeño efecto dañino sobre la nutrición de la mayoría de los cultivos y debe ignorarse. Los mayores problemas de nutrición suceden en condiciones no salinas, sódicas y alcalinas donde la concentración de sodio es elevada, la concentración de calcio es baja (menor a 2 mmol/l) y/o cuando la relación $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ es menor que 1 (Lagerwerff & Holland 1960).

Generalmente la toxicidad por cloro y sodio dependen de la sensibilidad de las plantas. La mayoría de plantas sensibles al cloro se ven afectadas cuando la concentración de cloro en el extracto de saturación excede de 5 a 10 mmol/l. Las plantas más tolerantes solamente se ven afectadas en concentraciones superiores a 30 mmol/l (Bernstein, 1974; 1980).

Para evaluar la toxicidad del sodio y la respuesta de los cultivos se utilizan los resultados de los experimentos realizados por Bernstein y Pearson (1956; 1958). La reducción de la cosecha debido a niveles elevados de sodio intercambiable solamente ocurren cuando la concentración de Ca^{2+} es deficiente (menor 1-2 mmol/l) o cuando supera el valor umbral de tolerancia a la salinidad. El RAS a bajos niveles de salinidad se incrementa al disminuir simultáneamente la concentración de Ca^{2+} a niveles inadecuados de nutrición o con niveles adecuados de Ca^{2+} (> 1-2 mmol/l) al producirse un incremento en la salinidad hasta valores muy elevados. Los síntomas de toxicidad por sodio aparecen después de producirse una acumulación en los tejidos. Los niveles de tolerancia de cada cultivo son específicos y se pueden tomar de las tablas de Bernstein (1974).

La respuesta de las plantas a la concentración de boro en el agua del suelo está relacionada con la cantidad de boro adsorbido (Hatcher et al., 1959; Bingham et al., 1981). El boro es adsorbido por los constituyentes minerales existiendo un equilibrio entre la cantidad en

2. Modelos

solución y el estado adsorbido. El tiempo necesario para conseguir este estado estático es menor de 10 años.

Los datos requeridos por el modelo son los siguientes:

- Composición media del agua de riego corregida con el efecto de dilución por la lluvia. Esta composición debe cumplir que la concentración de cationes es igual a la concentración de aniones. En caso de que no sea así hay una subrutina en el modelo que ajusta el balance de carga.
- Selección entre saturación o no con calcita.
- Fracción de drenaje. Se puede seleccionar entre varias opciones ya establecidas (0.05, 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4) o especificar cualquier otra.
- Selección de mejoras. La adición de ácido sulfúrico en el agua de riego reemplaza el 90 por ciento de la alcalinidad con sulfato (base química equivalente). La adición de yeso en el agua de riego en cantidad equivalente a 1 mmol/l de CaSO_4 para simular aguas o tratamiento de suelos con yeso. La incorporación de yeso en el suelo en cantidades añadidas equivalente a 20 mmol/l de Ca^{2+} y SO_4^{2-} para simular tratamientos de incorporación al suelo con grandes cantidades de yeso. Las rutinas de mejora tienen menor utilidad con aguas altamente salinas debido a que la permeabilidad es menor y disminuye el problema por tanto el tratamiento es menos efectivo que con aguas menos salinas.

La composición del agua del suelo en el equilibrio se calcula en términos de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , pH, CE, RAS, concentración de cationes y potencial osmótico del agua extraída por las plantas para cinco profundidades relativas del suelo: superficie y la zona radicular dividida en cuatro segmentos en los cuales el patrón de extracción de agua es de 40%, 30%, 20% y 10% respectivamente. La media de CE, RAS y Cl del agua del suelo se calculan para toda la zona radicular y la mitad superior de la zona radicular. La CE y RAS del agua del suelo de la parte superior de la zona radicular se utilizan para evaluar problemas de permeabilidad.

2.4.3. CROPWAT

Es un modelo que estima las necesidades hídricas de los cultivos a partir de los datos climáticos teniendo en cuenta diferentes tipos de suelo (Clarke et al., 1998).

El programa CROPWAT se estructura en cuatro bloques: datos de entrada, diseño, tablas de datos y gráficos.

Los datos de entrada necesarios para la ejecución del modelo son:

- Clima: temperaturas medias, máximas y mínimas, humedad del aire, velocidad del viento y radiación solar.

- ETo: calculado mediante el método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998; Villaman et al., 2001) a partir de los datos climáticos
- Lluvia: precipitaciones mensuales
- Cultivos: tipo, cobertura y coeficientes del cultivo
- Suelo: tipo de suelo y propiedades hidráulicas

En el menú de diseño se definen los criterios de riego (frecuencia y cantidad) que permiten optimizar el riego para el escenario seleccionado. Entre las opciones que se pueden definir en el diseño de riego se encuentran el momento de aplicación y la profundidad del riego así como la fecha de inicio de la simulación.

Respecto al momento de aplicación se puede optar por varias posibilidades: riego a intervalos fijos o variables y riego cuando la humedad del suelo cae por debajo de un valor establecido. La profundidad de aplicación también puede definirse a profundidades fijas y variables o a la profundidad en que el porcentaje de humedad se encuentra por debajo de un valor determinado. Por otra parte el programa permite definir una fracción de drenaje para la estimación de las necesidades de riego.

El inicio del programa de riego puede corresponder con la fecha de inicio de la actividad del cultivo o bien una fecha distinta seleccionada por el usuario. Otras opciones del programa permiten seleccionar diferentes métodos de cálculo de ETo, distribución de la lluvia y lluvia efectiva.

La definición de los criterios de riego permite el diseño de estrategias de riego óptimas para cada caso analizado.

Las tablas de datos están en formato ASCII y pueden exportarse a otros programas para su análisis mediante un editor de texto. En las tablas están representados tanto los datos de entrada como los resultados obtenidos en el diseño de escenarios.

En cuanto a los gráficos representan los resultados de forma visual permitiendo rápidamente observar las diferencias que se producen al seleccionar diferentes criterios de riego. Estos gráficos pueden imprimirse y exportarse a otros programas.

3. Generalidades del área de estudio

3.1. Área de estudio

La Plana de Oropesa-Torreblanca es una llanura costera situada a unos 20 kilómetros al norte de la ciudad de Castellón de la Plana (ver figura 3.1). Se trata de una estrecha franja comprendida entre Alcocebre y el Cabo de Oropesa, con una longitud de costa de unos 20 kilómetros y bordeada por la Sierra de Oropesa al oeste y la de Irta al norte. La extensión aproximada de la Plana es de 90 Km².

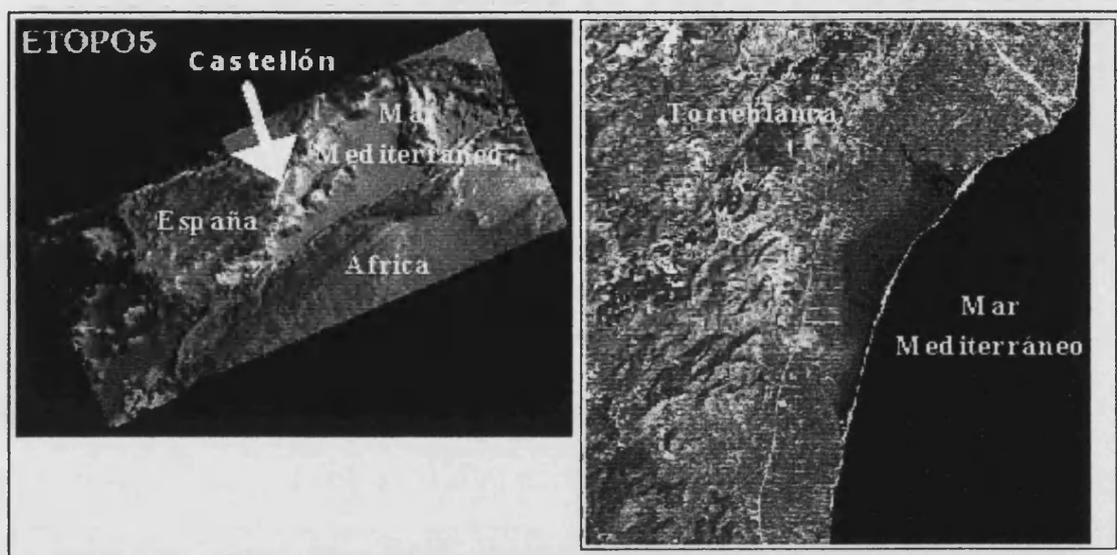


Figura 3.1. Localización del área de estudio (Batlle-Sales, 2001).

Las poblaciones que se asientan sobre esta área son Oropesa, Ribera de Cabanes, Torreblanca y Alcocebre, mientras que en sus alrededores se localizan Benicasim, Cabanes, Torre Endoménech, Cuevas de Vinromá y Alcalá de Chivert.

El sector septentrional de la zona está atravesado por el Río Cuevas o de San Miguel y el meridional, por el Barranco de Chinchilla, ambos de régimen intermitente.

Las sierras circundantes están formadas principalmente por materiales mesozoicos (rocas carbonatadas y margas) y por materiales miocenos (margas, arcillas, areniscas y calizas) sobre los cuales se hallan depósitos cuaternarios y pliocuaternarios. Estos depósitos están constituidos por acumulaciones de cantos rodados calizos con intercalaciones arcillosas. Se reparten de forma continua desde la costa al interior de la zona situada al norte del río San Miguel; al sur del río sólo ocupan las zonas del interior, estando delimitada por la costa por una pequeña barra y unas extensas turberas.

El litoral se caracteriza por la existencia de una amplia zona pantanosa, correspondiente a una antigua albufera (actual marjalería), denominada el Prat de Cabanes-Torreblanca, Prat de la Ribera o Pantano del Prat. Estos ambientes naturales en los que la salinidad es una

3. Generalidades del área de estudio

característica diferenciadora son el refugio de especies vegetales de gran interés (Costa, 1995, 1999; Batlle-Sales et al, 1995; Pérez et al., 1992) existiendo unas directrices europeas para la protección de estos hábitats (Laguna, 1998).

Desde el punto de vista hidrogeoquímico, el litoral castellonense es la franja de descarga al mar de dos grandes sistemas hidrogeológicos, denominados Sistema Javalambre-Maestrazgo y Sistema Sierra Espadán-Plana de Castellón-Plana de Sagunto. Las Planas son llanuras costeras rellenas de materiales pliocuaternarios de litología de gravas y conglomerados con niveles arcillosos y eventualmente arenosos, irregularmente distribuidos. Este conjunto reposa sobre materiales margosos miocénicos y sobre el substrato mesozoico. El conjunto pliocuaternario se dispone a manera de cuña que se engrosa desde el interior hacia la costa, en donde llega a alcanzar espesores del orden de 100 metros en Peñíscola-Vinaroz y Oropesa-Torreblanca y superior a 200 metros en la Plana de Castellón (Giménez & Morell, 1988)

La marjal del Prat se sitúa sobre este acuífero superficial que, a su vez, está ubicado sobre otro acuífero carbonatado más profundo; el subsistema Jurásico. Ambos están separados por depósitos impermeables del Mioceno constituidos por margas y arcillas (IGME, 1981).

La oscilación estacional de la piezometría es descendente en los meses de Junio a Octubre, coincidiendo con el periodo de aridez estival propio del clima mediterráneo, y ascendente entre Noviembre y Mayo. El sector de Oropesa es un subacuifero aislado, escasamente alimentado desde los materiales mesozoicos de borde atrapado hacia la costa por la presencia de una importante fracción arcillosa. Es este sector se pone de manifiesto la existencia de peculiaridades respecto al resto del acuífero, tales como enriquecimiento en ión bromuro, sulfato y potasio fundamentalmente. En el sector central del acuífero la piezometría se mantiene regularmente sobre el nivel del mar debido, por una parte, a la dispersión de los puntos de bombeo y, por otra, al papel de barrera que puede jugar la marjalería de la franja litoral (Morell, 1985; Castillo-Pérez & Morell, 1988).

La calidad de las aguas en el acuífero detrítico de la Plana de Oropesa-Torreblanca se encuentra muy degradada por fenómenos de intrusión marina y al uso excesivo de fertilizantes y pesticidas. Los procesos de intrusión marina en los acuífero de Torreblanca han sido extensamente estudiados por Morell (Morell, 2001; Morell, et al., 1986; 1988; 1996; Giménez et al., 1996).

Las transformaciones agrícolas con la puesta en cultivo de un elevado número de hectáreas, constituyen una actividad que se ha venido desarrollando de forma tradicional. Según Cavanilles (1795), la puesta en cultivo del marjal constituía la principal fuente de riqueza de los habitantes de Torreblanca a finales del siglo XVIII. La desecación de la marjal y la creación de campos de cultivo se realizaba excavando canales de drenaje y depositando el suelo extraído sobre los campos colindantes. Éstos se dedicaban a cultivo de cereales (trigo y maíz), hortalizas y frutales (granados, perales, membrilleros, etc.).

En los últimos años se ha producido una sustitución de los cultivos tradicionales por los cítricos hasta convertirse en el cultivo predominante de la zona. Por otra parte se han puesto en cultivo muchas zonas del interior, así como zonas costeras marjalosas que han sido

transformadas para la agricultura aumentado la extracción de agua de los acuíferos y contribuyendo al avance de la intrusión marina (Navarrete et al., 1988; Giménez et al., 1996). La unidad de investigación dirigida por Batlle-Sales ha estudiado durante más de diez años los procesos de salinización y de degradación de estas áreas y caracterizado los suelos (Abad & Batlle-Sales, 1992; Abad, 1993; Batlle-Sales & Regolf, 1992; Batlle-Sales et al., 2002; Bordás et al., 1997; Felipe, 1995).

3.1.1. El cultivo de cítricos

Los cítricos se cultivan sobre todo entre las latitudes 40°N a 40°S. En la zona norte de la región mediterránea los principales países productores son España, Italia, Grecia y Turquía y en la zona sur, Marruecos, Egipto, Israel, Túnez, Líbano y Argelia.

Como el transporte a otros países europeos occidentales ha mejorado y sus poblaciones han aumentado, los países mediterráneos han desarrollado un intenso mercado de exportación de fruta fresca, a partir del consumo interno tradicional. Naranjas, mandarinas y limones son todos ellos importantes en el total del mercado de exportación de la región. España ha llegado a ser el mayor exportador de la zona. La comercialización de mandarinas se ha mantenido en un nivel alto gracias al desarrollo de las selecciones sin semillas (particularmente Clementinas y Satsumas) y a la atención dedicada a obtener y comercializar fruta de alta calidad. En España, tan sólo en 20 años las mandarinas aumentaron desde tan sólo el 8% de la producción del país hasta alcanzar aproximadamente una tercera parte del total, aumentando de 0.16 millones de toneladas en 1965 a 0.74 millones en 1978 (Del Rivero, 1981) y a 1.5 millones de toneladas en 1989-1991 (FAO, 1991). La mejora de las técnicas de producción, manteniendo la calidad, ha fortalecido la posición comercial de España. La Comunidad Valenciana es la zona citrícola más importante de España, la zona de Torreblanca es una zona representativa para este cultivo.

Los principales géneros y especies comerciales de cítricos son especies perennes que tienen orígenes tropicales y subtropicales. Tienen cuatro características importantes: (i) presencia de glándulas oleíferas; (ii) ovario elevado sobre un disco floral (nectario); (iii) presencia de puntos pelúcidos en las hojas; y (iv) fruto con placentación axilar (Swingle & Reece, 1967). Los cítricos y muchos géneros relacionados hibridan con facilidad y lo han hecho en condiciones silvestres durante muchos siglos, por lo tanto, no existe un aislamiento reproductivo claro entre especies.

El género *Citrus* consta de 16 especies de árboles de tamaño moderado a grande, de hoja perenne. La forma de los árboles varía desde la copa erecta de algunos mandarinos a la extendida de pomelos y mandarinos satsuma. Las ramas son angulosas con numerosas espinas en las axilas de las hojas cuando son jóvenes, cambiando a cilíndricas y con espinas menos prominentes cuando son adultos. Las hojas son unifoliadas con diferentes tamaños según la especie, el tamaño del peciolo también varía. Las flores nacen individualmente o agrupadas en las axilas de las hojas. El fruto consta de un ovario único de 8-15 carpelos fusionados (gajos) rodeados por una cáscara coriácea. Esta cáscara contiene numerosas glándulas oleíferas y varían de color desde el verde-amarillo (limones, limas y pomelos) a naranja y naranja rojizo (naranjas) y hasta naranja intenso y rojo-anaranjado (mandarinas).



3. Generalidades del área de estudio

El naranjo dulce (*C. Sinensis* [L.] Osb.) tiene su origen posiblemente en el noreste de la India y China central. Es la especie mejor distribuida debido a su resistencia moderada a las heladas y su adaptabilidad a un amplio abanico de condiciones climáticas. Sus frutos tienen un contenido de ácidos de moderado a bajo y un porcentaje de sólidos solubles de moderado a alto. Se pueden dividir en cuatro grupos basándose en las características morfológicas del fruto: (i) naranjas comunes o redondas, (ii) naranjas navel, (iii) naranjas pigmentadas (sanguinas) y (iv) naranjas semiácidas. Los dos primeros grupos son los que tienen mayor importancia comercial. Por otra parte las naranjas dulces se agrupan según la época de madurez en tempranas, de estación media y tardías. Las pautas de maduración dependen de las condiciones del cultivo (Davies & Albrigo, 1994).

Los naranjos navel son más sensibles al estrés ambiental que los cultivos de naranjo dulce (Davies, 1986). La insuficiente humedad del suelo durante el cuajado inicial de la fruta (junio o noviembre), los periodos de caída fisiológica y las altas temperaturas durante la floración ocasionan importantes pérdidas de rendimiento. La producción de naranjas navel es especialmente escasa en climas con un promedio muy alto de temperaturas diurnas y nocturnas, sin embargo, la fruta de mejor calidad se produce en climas de tipo mediterráneo como España.

En cuanto a las mandarinas el grupo principal es el de las Satsuma (*C. Unshiu* Marc.). Su origen se establece en la Isla Nagashima en Japón, de semillas traídas desde China (Saunt, 1990). Los frutos de Satsuma son moderadamente grandes comparados con otros mandarinos. En los últimos años hay una tendencia de seleccionar o cultivar variedades de maduración más temprana para prolongar la temporada de la cosecha, porque la mayoría de las mandarinas se conservan mal sobre el árbol, debido a que los gajos se secan.

La mayoría de los programas de mejoras se realizan a mano mediante cruzamientos controlados. Esto supone la selección de tipos parentales con características favorables heredables. Durante el periodo juvenil se evalúan los árboles para apreciar la resistencia a plagas y condiciones de estrés ambiental. El siguiente paso es injertar las plantas en varios patrones y transferirlas a viveros de campo. Este proceso es muy largo y costoso por ello se recurre a nuevas técnicas como el análisis isoenzimático y la identificación de genes marcadores ligados a genes de resistencia.

Las limitaciones ambientales al crecimiento y desarrollo comienzan en el momento de la germinación. La temperatura necesaria para que la semilla emerja oscila entre 9 y 38°C y varía con la especie. La duración del estadio juvenil depende de la especie y de las condiciones ambientales. En general los limoneros tienen periodos juveniles de menos de dos años mientras que las naranjas y mandarinos tienen periodos de 5 a 13 años cuando crecen de semilla. La duración de este estadio depende de las condiciones de humedad del suelo de forma que con humedad elevada el periodo juvenil disminuye.

La intensidad y la calidad de la luz también afectan de varias maneras al crecimiento y desarrollo vegetativo de los cítricos. Por una parte la intensidad de la luz tiene un efecto directo sobre la asimilación neta de CO₂ por las hojas y un efecto indirecto sobre la temperatura de las mismas. Por otra parte, el crecimiento vegetativo de los cítricos está estrechamente relacionado con la asimilación neta de CO₂ suponiendo que otros factores

3. Generalidades del área de estudio

como la temperatura, nutrientes y agua no sean limitantes. Por lo tanto el crecimiento vegetativo de los cítricos suele ser mayor en las zonas en que la duración del día es de moderada a larga siempre que el agua no sea un factor limitante.

En cuanto a las temperaturas, los óptimos de asimilación neto de CO₂ van de 28-30°C en aire húmedo (Kriedmann & Barrs, 1981) limitando la actividad de la ribulosa 1.5-bifosfato carboxilasa (RuBisCo) a temperaturas superiores a 35°C y ocasionando el cierre estomático a mediodía. En condiciones de humedad baja las temperaturas óptimas oscilan entre 15 y 22°C.

El inicio del crecimiento del tallo está regulado por la temperatura (> 12.5°C) y por la disponibilidad de agua. El crecimiento primaveral ocurre entre marzo y abril cuando las temperaturas medias oscilan entre 12-20°C. Por el contrario el crecimiento estival ocurre en junio-julio cuando las temperaturas oscilan entre 25-30°C. El índice de área foliar es una medida del área total de la superficie de las hojas por unidad de suelo cubierto por la planta. Muchos árboles maduros tienen un área foliar de 12 (350 m² de superficie foliar). La cobertura es un factor importante en el diseño de la plantación ya que en huertos con alta densidad de plantación la luz es un factor limitante. Un programa adecuado de plantación con una separación típica de 4.2 m entre los árboles y una poda anual es esencial para mantener la penetración de la luz y estimular la producción de fruta en los árboles maduros.

La temperatura también regula el crecimiento y desarrollo de las raíces y la captación de agua y nutrientes. Los principales periodos de crecimiento de las raíces suceden de mayo a junio y de agosto a septiembre. La velocidad de elongación de las raíces es fuertemente dependiente de la temperatura. Por otra parte también las tasas de captación de agua y nutrientes se correlacionan con la temperatura. La conductividad hidráulica de la raíz se incrementa apreciablemente de 10 a 30°C (Wilcox & Davies, 1981) esta conductividad hidráulica de las raíces es inherentemente baja en estos árboles debido posiblemente a la ausencia de un sistema pilífero de la raíz bien desarrollado y a la presencia de un endodermo bastante pronunciado. En cuanto a las condiciones de humedad, potenciales matriciales inferiores a -0.05 Mpa inhiben la elongación de la raíz y la producción de nuevas raíces (Bevington & Castle, 1985). Tras la rehidratación, la tasa de elongación se incrementa, pero el aumento primario en la superficie radicular se debe a la producción de nuevas raíces. En términos de % de humedad, el volumen y producción de nuevas raíces disminuye significativamente cuando el porcentaje de humedad es inferior al 45% del agua disponible (Marler & Davies, 1990). El estrés hídrico se manifiesta de varias maneras incluyendo el cese del crecimiento, la marchitez de las hojas y de la conductividad radicular ocasionando en casos extremos el engrosamiento y la abscisión de las hojas. Por otra parte, el exceso de agua puede ocasionar la muerte de la raíz en pocos días cuando las temperaturas del suelo son altas debido a la producción de dióxido de azufre por las bacterias edáficas (Davies, & Albrigo, 1994).

La mayor productividad se obtiene en suelos profundos, de arenosos a arenoarcillosos y condiciones de drenaje adecuadas y con pH entre 5.5 y 7 debido a que la disponibilidad de nutrientes es mejor. En suelos con contenidos de arcilla superiores al 50%, mal drenados o con capas muy duras cerca de la superficie el crecimiento de los cítricos se ve fuertemente

3. Generalidades del área de estudio

reducido. Por otra parte en suelos con pH bajo puede evidenciarse un efecto de toxicidad por aluminio.

La carencia de cantidades adecuadas de agua de buena calidad para el riego limita la productividad de los cítricos. Los cítricos son sensibles a la salinidad (Bielorai et al., 1988; Alva & Syvertsen, 1991). En general el crecimiento de los cítricos se ve afectada cuando los niveles del extracto de saturación se sitúan por encima de 1.7 dS/m y a partir de 4.8 dS/m la productividad cae por debajo el 50% (Pizarro, 1985). Los daños por salinidad se intensifican en condiciones de humedad escasa.

Los cítricos a diferencia de otros cultivos leñosos no presentan quemaduras típicas debidas a la toxicidad por cloruros. En general, los síntomas que presenta esta toxicidad es un amarilleamiento o clorosis de la mayor parte del limbo de las hojas, producida por la desaparición de la clorofila, estando acompañada, generalmente, de una intensa defoliación. Usualmente, las hojas más expuestas a la radiación solar acusan con más intensidad los síntomas de toxicidad que las menos expuestas. Así mismo estos síntomas son más acusados durante el verano que durante la primavera. La tolerancia a cloruros de los patrones de los cítricos está estrechamente relacionada con la mayor o menor aptitud de éstos para absorber cloruros. Así, los patrones más tolerantes son aquellos que absorben los cloruros más lentamente. En cuanto a los niveles críticos de cloruros en el extracto de saturación del suelo, los patrones más sensibles (citrange Troyer, citrange Carrizo y naranjo dulce) pueden resultar afectados cuando el contenido de cloruros es superior a 10 meq/l, mientras que los más tolerantes (mandarino Cleopatra y lima Rangpur) resultan afectados sólo cuando la concentración de cloruros es superior a 25 meq/l. El nivel crítico de sodio en el extracto de saturación es de 15 meq/l (Pomares, 1986).

Por estos motivos es muy importante disponer de suelos con buen drenaje y de una programación de riego adecuada. La programación del riego se basa en el concepto de reponer las pérdidas diarias de agua por evapotranspiración, escorrentía y precolación (Rogers & Bartholic, 1976). Los distintos métodos de riego están basados en estimar o medir la ETo. Esta medida puede estimarse a partir de los datos climáticos o medirse usando un tanque evaporimétrico (Jensen et al., 1990). La cantidad de agua evaporada del tanque es proporcional a la ETo pero debe ajustarse a los distintos factores del cultivo (conductancia radicular y estomática, superficie foliar, cobertura...). El coeficiente del cultivo es menor al 80% de la ETo y varía con el estado de crecimiento y el tamaño del árbol. Un método común de programar el riego en los cítricos se basa en los niveles de humedad del suelo utilizando tensiómetros u otros dispositivos para cuantificar el contenido de humedad del suelo. El contenido de humedad del suelo que hay que regar suele obtenerse comparando la relación a largo plazo entre los rendimientos y el crecimiento de los árboles y los niveles de humedad del suelo, para un lugar y tipo de suelo particulares. Por lo tanto, puede derivarse un conjunto de pérdidas de agua para una plantación o tipo de suelo concretos. Dicha pérdida es una medida de cuanta agua se ha eliminado de un volumen de suelo en relación a la cantidad de agua disponible en el suelo en la zona de la raíz. Por ejemplo, un estudio realizado durante 20 años en Arizona sugería que los rendimientos cítricos óptimos se obtenían cuando la tensión de humedad del suelo (medida con tensiómetros) permanecía entre 60-70 kPa a 75 cm de profundidad (Hilgeman, 1977). Otros estudios similares de Florida sugieren que mantener el contenido de humedad edáfica

3. Generalidades del área de estudio

al 33-66% de la humedad disponible del suelo, es el nivel óptimo para los rendimientos (Koo, 1963). Los porcentajes de agotamiento de la humedad del suelo entre 30-45% (Marler & Davies, 1990), y un 10-20 kPa de tensión (Smalstrla et al., 1985) es lo que se recomienda para obtener el crecimiento óptimo de los cítricos jóvenes. Los árboles jóvenes tienen el sistema radicular más pequeño y almacenan menos agua que los árboles maduros, requiriendo los riegos con más regularidad.

En teoría, el riego podría regularse con más precisión utilizando como pauta las características de la planta, tales como la conductancia estomática, la asimilación neta de CO₂, el potencial hídrico de las hojas y frutos o el crecimiento del tronco. En la práctica, sin embargo, en el campo es difícil medir algunos de estos parámetros y pueden ser indicadores poco fiables y precisos para saber cuando regar ya que dependen de otros factores a parte del estado hídrico de la planta (Davies, & Albrigo, 1994).

Entre los sistemas de riego hay que destacar el riego por inundación que todavía se aplica ampliamente en todas las regiones cítricas del mundo. El agua se filtra por percolación en el volumen de suelo de la zona radicular, del que es absorbido por el árbol. Sin embargo este sistema tradicional está siendo sustituido por la microirrigación desarrollada a principios de la década de los sesentas en Israel y Sudáfrica. Varios estudios han demostrado claramente que la microirrigación gasta menos agua que los sistemas de surcos o inundación sin reducir el crecimiento o rendimiento del árbol (Roth et al., 1974). En general, debería regarse más del 50% del sistema radicular de los árboles maduros sobre suelos arenosos bien drenados (Smalstrla & Koo, 1984).

Los sistemas de microirrigación son un método eficiente para proporcionar agua al árbol con uniformidad, sin embargo, requieren una gestión más minuciosa que otros métodos. Las líneas de riego y los emisores de agua están sujetos a atascos por material particulado, insectos, arañas o minerales tales como calcio o magnesio que precipitan del agua de riego. Diversas bacterias y algas reductoras de hierro y azufre también pueden ocasionar la obturación de los difusores (Ford & Tucker, 1975). Por tanto, la calidad del agua y una adecuada filtración y cloración (para controlar algas y bacterias) son necesarias para asegurar el apropiado funcionamiento del sistema. Además, las sales (Na⁺, Cl⁻) se acumulan dentro de o entorno a los emisores, especialmente en las regiones áridas, ocasionando en algunos casos daños a las raíces, si no se lavan periódicamente de los alrededores de éstas (Davies, & Albrigo, 1994).

La necesidad de lavado que hay que aplicar para prevenir la salinización del suelo depende, fundamentalmente, de la tolerancia del cultivo a la salinidad, de la calidad del agua de riego, así como del sistema de riego empleado. En el caso de sistemas de riego por inundación el aumento de la dosis de riego para el lavado de las sales oscila entre un 10-20%, utilizando aguas con un contenido en sales entre 0.6 y 1.2 gramos por litro, y un 20-35%, con aguas que contienen entre 1.2 y 1.8 gramos por litro. En el caso de riego localizado, los aumentos en las dosis normales de riego, serán del orden de la mitad que los indicados para el riego por inundación (Pomares, 1986).

3.1.2. Los suelos

La mayor parte de los suelos de la zona de Torreblanca se han originado a partir de los abanicos aluviales que transportaban fragmentos de caliza originando muchas especies de conglomerados y depósitos de arena, limo y arcilla diferenciados en el paisaje. Los perfiles típicos se clasifican como calcixerpts (Soil Taxonomy, 1998). Otros suelos se han derivado directamente de la alteración y/o disolución de las rocas calizas y dolomías, bajo clima semiárido, siendo clasificados como rhodo- o palexeralfs (Jiménez-Ballesta, 1976; Batlle-Sales, 2001; López-Campuzano et al., 2002).

En la zona depresiva de esta formación se formó un área húmeda costera sobre sedimentos limosos calcáreos protegida por un cordón de grava. En esta zona las propiedades de los suelos son un régimen de humedad ácuico fuertemente reductor con presencia de salinidad variable debida a un fenómeno de intrusión marina y una acumulación de materiales orgánicos. Estos suelos se clasifican como Typic sulfihemist (Abad & Batlle-Sales, 1992; Abad, 1993; Batlle-Sales & Regolf, 1992). Los perfiles se caracterizan por la presencia de una capa freática cuya oscilación típica se encuentra entre -10 y + 40 cm de la superficie del suelo. Los materiales sulfídicos se originan a partir de la reducción de los sulfatos, provenientes del agua marina, que se acumulan en el suelo. Esta reducción se acompaña con la formación de carbonato de sodio en superficie. Los valores de Eh en la solución en equilibrio del suelo se encuentra alrededor de -100 mV y el pH alrededor de 6.5 en condiciones de campo. El rango de valores de CE oscila entre 2-40 dS/m. El pH en superficie puede alcanzar 8.5 y el Eh llega a ser fuertemente oxidativo (Abad & Batlle-Sales, 1992).

Muchas de estas zonas han sido transformadas para la producción agrícola con la consiguiente degradación de los suelos y las consecuencias debidas al cambio de las condiciones reductoras a condiciones oxidantes (Batlle-Sales, et al. 1994; Bordás et al., 1997).

Durante la ejecución del proyecto "*An integrated approach for sustainable management of lands susceptible to degradation/desertification*" financiado por la Unión Europea (Batlle-Sales, 2001) se llevó a cabo un estudio de los suelos de la zona de Torreblanca sobre un área de 30 Km².

Se tomaron 144 perfiles a tres profundidades (0-30, 30-60 y 60-90 cm) en los casos que era posible y se caracterizaron sus propiedades físicas, químicas y fisico-químicas. Por otra parte se tomaron anotaciones sobre el tipo de cultivo y la gestión agrícola (riego y manejo). Todo ello se llevó a cabo durante la estación seca (ver figura 3.2).

Con los datos recogidos se elaboró una base de datos georeferenciada y mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica se realizó un mapa digital del terreno sobre el que se superpusieron diferentes capas con los resultados de cada variable analizada (ver figura 3.3).

Para la clasificación y selección de los tipos de suelo representativos de la zona se utilizó una aproximación estocástica mediante la agrupación estadística utilizando los valores de

las propiedades más relevantes. Estas propiedades diferenciadas en los perfiles se identificaron utilizando métodos multivariantes de componentes principales. Estos parámetros se utilizaron en el procedimiento de clasificación mediante clusters, jerárquicos o no, para agrupar los perfiles de suelo y obtener los diferentes tipos de suelo de la zona. El número de grupos o clusters definidos fueron ocho.

De acuerdo con los requerimientos de entrada del modelo LEACHM las propiedades físicas más relevantes son la textura, la fracción gruesa y la densidad aparente. Respecto a las propiedades químicas las más importantes son: pH, CE, RAS, CaCO₃ y MO. Se utilizaron los valores correspondientes a la profundidad de 0-30 cm debido a que la mayoría de los suelos no tienen profundidades mayores, se trata de suelos muy someros. El análisis multivariable de componentes principales dio como resultado que las propiedades discriminantes son: CE_e, pHe, % arena, % limo, % fracción gruesa y CaCO₃. Tras la identificación de las propiedades principales se procedió a la agrupación de los perfiles en ocho clases utilizando el agrupamiento jerárquico de variables estandarizadas. Los clusters 6, 7 y 8 corresponden con la zona marjalosa, con elevada salinidad, mientras que los clusters 1 al 4 corresponden con los campos de cultivo. A partir de estos resultados se seleccionaron los perfiles más representativos para cada cluster: perfil PRI (cluster 1), perfiles PII, PIII y PRVI (cluster 2), perfiles PRIV y PRVII (cluster 3) y perfil PRV (cluster 4) (Batlle-Sales, 2001).

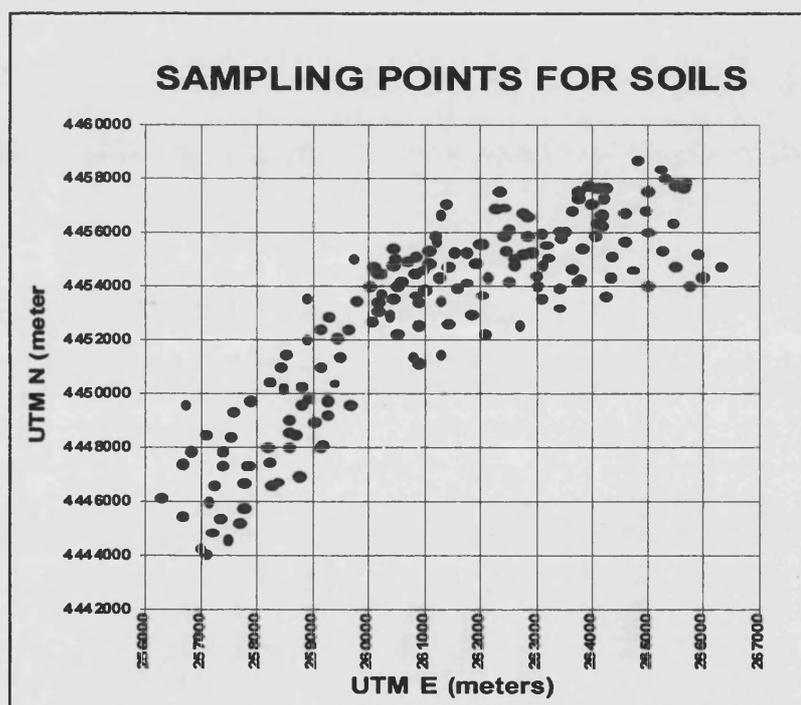


Figura 3.2. Diseño de muestreo en Torreblanca (Batlle-Sales et al., 2002)

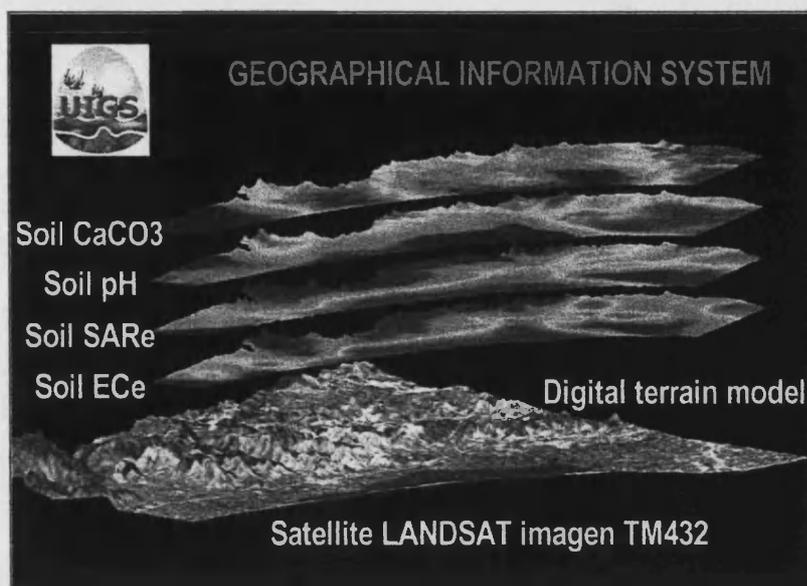


Figura 3.3. Modelo digital de Torreblanca (Batlle-Sales et al., 2002)

En cuanto a la mineralogía de los suelos de Torreblanca en la fracción mineral domina el cuarzo y calcita. En esta zona no hay presencia de yesos. Las arcillas predominantes son la illita y la caolinita. En algunos perfiles se observa la presencia de arcillas expansibles del tipo esmectitas y/o vermiculitas (Batlle-Sales, 2001).

3.1.3. Las aguas subterráneas

Durante el periodo comprendido entre 1996 hasta 2001 se llevó a cabo un muestreo periódico de los pozos de la zona de Torreblanca por el equipo dirigido por Batlle-Sales con el fin de estudiar la composición química de las aguas subterráneas y su variación temporal. Los valores de pH, temperatura, Eh, CE, Oxígeno disuelto, alcalinidad, calcio, magnesio y sodio fueron medidos in situ para evitar cambios durante el transporte de las muestras hasta el laboratorio. En el laboratorio se midieron los cationes y aniones de las aguas por cromatografía iónica. Los resultados del análisis de las aguas subterráneas ponen en evidencia un fuerte proceso de mezcla de las aguas cársticas con agua marina. Este proceso de intrusión marina se debe a la sobreexplotación de los acuíferos costeros. Las aguas de los pozos de riego tienen conductividades que oscilan entre 0.6-8.5 dS/m y el RAS entre 1-17 (Batlle-Sales et al., 2002). Las figuras 3.4 y 3.5 muestran este proceso de mezcla con los diagramas de Piper y Wilcox.

El diagrama de Piper (1944) se utiliza para clasificar las aguas de acuerdo a su composición química. Una de las ventajas de este gráfico es su propiedad de representar las mezclas de dos aguas dibujando una línea entre las aguas que se mezclan. Los puntos rojo y azul representan la composición de las aguas que se mezclan, el agua del mar (Nordstrom et al.,

1979) en rojo y el agua cárstica en azul. Las mezclas vienen representadas por la composición de 17 pozos monitorizados. Los procesos de disolución y precipitación mineral y el intercambio catiónico pueden ser los responsables de la desviación respecto a la linealidad de las mezclas de agua.

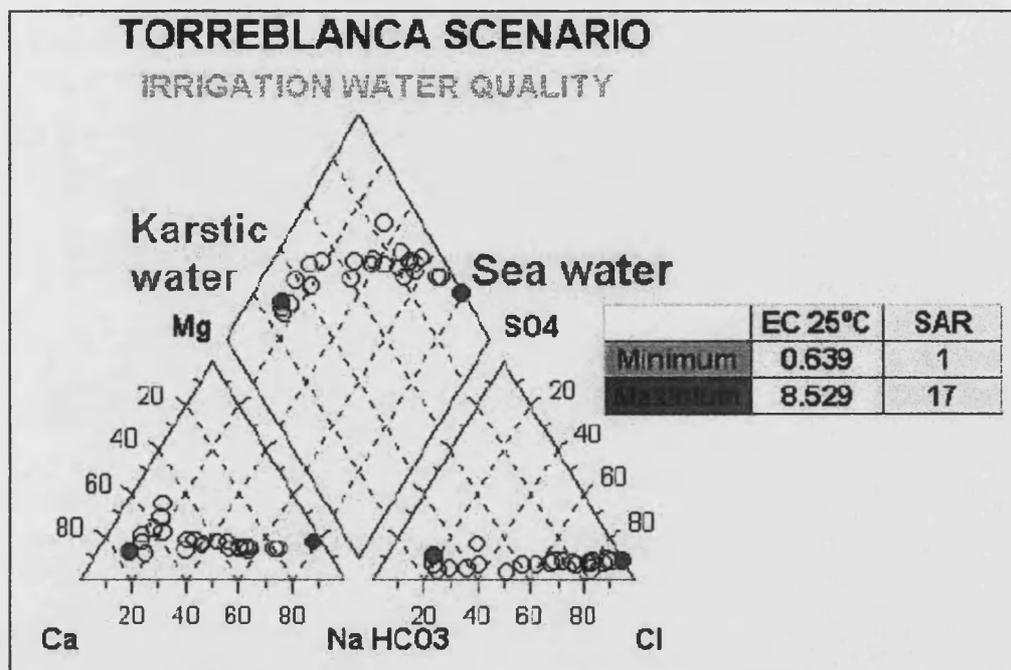


Figura 3.4. Clasificación de las agua de Torreblanca según el diagrama de Piper (Batlle-Sales et al., 2002)

El diagrama de Wilcox (1948) se utiliza para establecer recomendaciones sobre la conveniencia de la utilización de las aguas para el riego. La existencia de una fuerte regresión lineal entre CE/RAS ($R^2 = 0.9666$) indica que el incremento de la CE se acompaña de un incremento proporcional de la concentración de sodio en el agua.

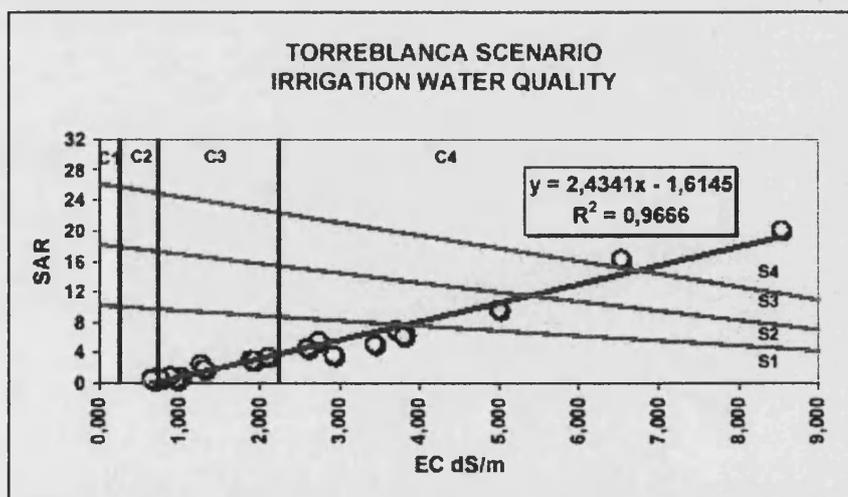


Figura 3.5. Clasificación de las agua de Torreblanca según el diagrama de Wilcox (Batlle-Sales et al., 2002)

3. Generalidades del área de estudio

Por otra parte la relación existente entre las concentraciones de Cl^-/CE y Cl^-/Na^+ en las aguas de los pozos ponen en evidencia que el incremento de las concentraciones de Cl^- y Na^+ son los responsables del incremento de la CE y que su origen se encuentra en la intrusión marina (ver figura 3.6).

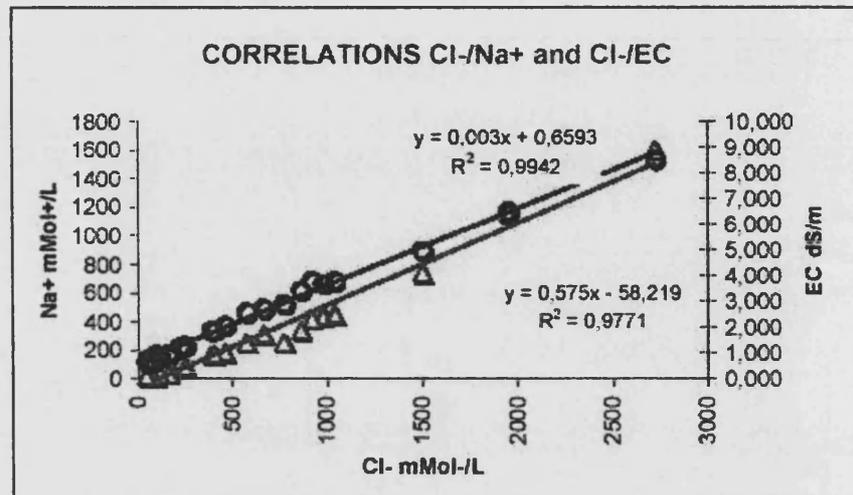


Figura 3.6. Relación entre Cl^-/CE y Cl^-/Na^+ (Batlle-Sales et al., 2002)

Por último la geometría y la estructura de los acuíferos, así como su explotación a través de los pozos de riego, establecen diferencias en la recarga. El resultado es la variación temporal de la composición de las aguas de riego a lo largo del año. Los cambios de conductividad pueden ser muy grandes en algunos pozos debido a la mezcla con el agua marina o a la recarga (Batlle-Sales et al., 2002).

4. Metodología

4.1. Perfiles monitorizados

La figura 4.1 presenta la localización de los perfiles seleccionados. Todos ellos con cultivo de cítricos.



4. Metodología

4.1.1. Apertura de perfiles, descripción e instalación de los dispositivos de monitorización

Durante la apertura de los perfiles se ha procedido a la descripción de los mismos según la Soil Taxonomy (1998).

En cada perfil se ha colocado un tubo de fibra de vidrio (Tenacat) para las medidas de humedad con un aparato TDR y un tubo de PVC para la observación y extracción de agua freática. En cada uno de los horizontes se han colocado tensiómetros para medir el potencial matricial, captadores cerámicos de solución del suelo (Rhizon sampler) y captadores de gases (CO₂). La tabla 4.1. resume los dispositivos instalados en cada perfil y la profundidad de instalación.

Tabla 4.1. Monitorización del perfil: dispositivos.

PERFIL	TDR Theta (v/v)¹ (Prof. Max. cm)	Tensiómetros (Profundidad cm)	Captadores de CO₂ (Profundidad cm)	Solución del suelo (Profundidad cm)
PRI	60	10, 40, 60	10, 40, 60	10, 40, 60
PRII	95	15, 35, 65	15, 35, 65	15, 35, 65
PRIII	90	10, 30, 60	10, 30, 60	10, 30, 60
PRIV	50	15, 50	15, 50	15, 50
PRV	40	25	25	25
PRVI	60	15, 45	15, 45	15, 45
PRVII	30	15	15	15

¹ El valor obtenido en la TDR integra un volumen de medidas en 20 cm de profundidad.

4.1.2. Seguimiento de los dispositivos y toma de muestras

En el momento de la apertura de los perfiles se han obtenido muestras de suelo de cada uno de los horizontes observados para su análisis en el laboratorio. También se han obtenido muestras inalteradas para la determinación de las propiedades hidráulicas, así como para el cálculo de la humedad de campo y la densidad aparente.

Durante el año 1999 se han visitado los perfiles haciendo especial énfasis en la época estival. Las fechas de monitorización y los parámetros analizados se describen en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Fechas y parámetros monitorizados.

FECHA MONITORIZACIÓN	MESES TRAS APERTURA PERFIL (aprox.)	PARÁMETROS MONITORIZADOS
17/03/99	2	Theta (θ), Potencial matricial (Kpa), CE_e (dS/m), RAS, pCO_2 y Profundidad de la capa freática (solo en PRV)
13/07/99	6	Theta (θ), Potencial matricial (Kpa), CE_e (dS/m), RAS, pCO_2 y Profundidad de la capa freática (solo en PRV)
15/08/99	7	Theta (θ), Potencial matricial (Kpa), CE_e (dS/m), RAS, pCO_2 y Profundidad de la capa freática (solo en PRV)
28/08/99	7	Theta (θ), Potencial matricial (Kpa), CE_e (dS/m), RAS, pCO_2 y Profundidad de la capa freática (solo en PRV)
17/10/99	9	Theta (θ), Potencial matricial (Kpa), CE_e (dS/m), RAS, pCO_2 y Profundidad de la capa freática (solo en PRV)
04/02/00	12	Theta (θ), Potencial matricial (Kpa), CE_e (dS/m), RAS, pCO_2 y Profundidad de la capa freática (solo en PRV)

A parte de los parámetros monitorizados se han tomado muestras de suelo a diferentes profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm) que han sido analizadas en el laboratorio.

4.1.2.1. Humedad de campo (TDR)

La humedad del suelo es un parámetro básico en agronomía de manera que su determinación debería ser uno de los indicadores en la evaluación de la necesidad de riego de los cultivos. Existen diversas metodologías para su determinación las más clásicas son las gravimétricas muy sencillas pero destructivas lo que impide determinar la variación temporal de la humedad en un mismo punto. Por ello en los últimos años se ha avanzado en la puesta a punto de sensores basados en el dominio del tiempo (TDR) que proporcionan un medio rápido y fiable del grado de humedad del suelo (Dalton, 1992) que también puede

4. Metodología

utilizarse para estimar la evapotranspiración (Evetts et al., 1993) y las propiedades térmicas del suelo (Evetts, 1994).

Para medir la humedad de campo y su distribución a lo largo de los perfiles se ha utilizado un aparato Time Domain Reflectometry (TDR) modelo TRIME-FM con una sonda versión P3 Tube Probe.

La sonda TDR modelo TRIME-FM es un instrumento portátil que ha sido desarrollado para su utilización en el campo. Esta técnica permite fácilmente obtener el contenido en agua del suelo en una unidad de volumen y permite establecer perfiles de humedad del suelo realizando medidas a diferentes niveles. Por otra parte los sistemas de medida pueden conectarse a un datalogger y así establecer un seguimiento automático de los datos (Baker & Allamaras, 1990). El sistema TDR tipo tubo desarrollado por la empresa IMKO permite realizar medidas puntuales a lo largo de un tubo en fibra de vidrio instalado previamente en el suelo. La ventaja de esta técnica se encuentra en la facilidad de manejo e instalación frente a otras técnicas como la sonda de neutrones y atenuación de rayos gamma y el tipo de medidas no destructivas frente a las medidas gravimétricas destructivas. De esta forma se puede analizar la evolución espacio-temporal de la humedad (Baker & Lascano, 1989).

El método TDR consiste básicamente en medir la velocidad de transmisión de una onda en una línea de transmisión. La señal TDR se mide a la salida de un generador de impulsión y representa la suma de las tensiones incidentes y reflejadas. La amplitud de esta señal es dependiente del tiempo.

Cuando la onda encuentra una discontinuidad a una distancia L se puede establecer después de un tiempo Δt que:

$$\Delta t = L/V$$

siendo V la velocidad de la onda. La velocidad de la onda es función de la velocidad de la luz c ($3 \cdot 10^8$ m/s) y de la permitividad eléctrica relativa K del material dieléctrico por el que circula la onda.

$$V = c/\sqrt{K}$$

Comúnmente K se denomina “constante dieléctrica” aunque esta denominación no es del todo correcta ya que K varía en función de la frecuencia, de la temperatura, de la humedad etc. Combinando las ecuaciones anteriores se obtiene la ecuación básica TDR:

$$\Delta t = L/c \cdot \sqrt{K} \Rightarrow K = ((c\Delta t/L))^2$$

Esta ecuación permite evaluar K a partir del análisis de una señal TDR. Esta medida puede realizarse en el suelo gracias al fuerte contraste entre la permitividad del agua ($K_e \approx 80$) y la de los minerales que constituyen la matriz de los suelos: $4 \leq K \leq 10$ (Sánchez-Pérez et al., 1999). Las tablas de permitividad de los materiales pueden consultarse en Touloukian (1980), Guéguen & Palciauskas (1992), Von Hippel (1995) y Schön (1996). A partir de esta relación Topp et al propusieron en 1980 una relación empírica que permite calcular el

contenido de agua del suelo en función de la medida de la permitividad K con un sistema TDR:

$$\theta = -5.3 \cdot 10^{-2} + 2.92 \cdot 10^{-2} K + 5.5 \cdot 10^{-4} K^2 + 4.3 \cdot 10^{-6} K^3$$

Teóricamente esta relación polinómica es utilizable para suelos del mismo tipo y con las mismas densidades que los suelos utilizados por Topp et al (1980) para realizarla. En general esta relación da buenos resultados en cualquier tipo de suelo. No obstante se recomienda hacer una validación con los datos obtenidos con esta ecuación y medidas de tipo gravimétrico para establecer una nueva relación en el caso de que los valores no sean concordantes. Para ello se ha realizado una doble calibración de sonda TDR en el laboratorio. En un primer momento se ha llevado a cabo una calibración básica con bolas de cristal en seco y en saturación. La preparación de las bolas es importante ya que con el uso las condiciones de la calibración cambian debido por un lado a que las bolas secas incrementan la densidad y por otro las bolas saturadas disminuyen la conductividad eléctrica y el pH con las soluciones de Na_2O y K_2O . Para esta calibración previa la sonda dispone de un programa denominado SMCAL. El orden en la calibración es primero en el recipiente con las bolas secas y posteriormente en el recipiente con las bolas saturadas. Es importante tener en cuenta que no deben haber objetos metálicos cerca.

Por otra parte se ha construido una columna experimental, con cuatro réplicas, de 1 m de longitud y 0.5 m de diámetro ($V = 0.20 \text{ m}^3$) utilizándose suelo seco de textura franco-arcillosa y con un tubo de fibra de vidrio para las lecturas con la sonda TDR. Se saturan todas las columnas tomándose como tiempo inicial ($t=0$) el momento de saturación. Las columnas se cierran por la parte superior para evitar las pérdidas por escorrentía y se abre por la parte inferior para permitir el drenaje. A las 48 h ($t=48 \text{ h.}$) se toman las lecturas de humedad cada 0.1 m con la sonda TDR en la primera réplica y se procede al corte de la columna en discos de 0.1 m de longitud para obtener la lectura de la humedad por gravimetría y la densidad aparente para su transformación a humedad volumétrica. A los diez días ($t=240 \text{ h.}$) se repite el proceso con la segunda réplica, a los quince días ($t=360 \text{ h.}$) con la tercera y a los treinta días ($t=720 \text{ h.}$) con la cuarta. Los valores tomados con la sonda TDR se comparan con los valores obtenidos por el método gravimétrico. La figura 4.2 muestra el procedimiento llevado a cabo en la calibración con las columnas experimentales.

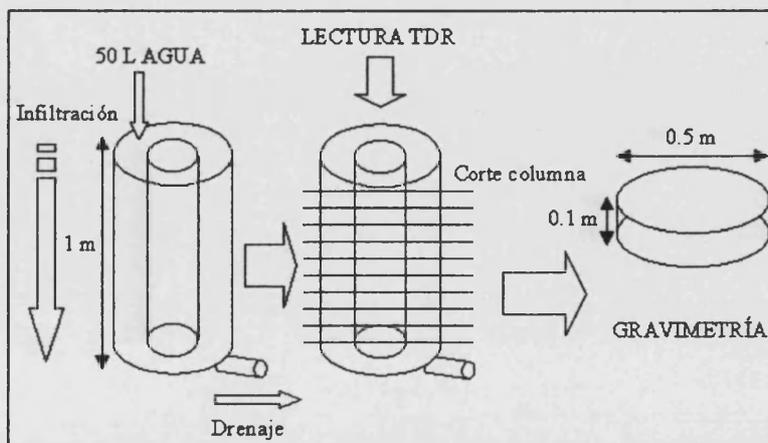


Figura 4.2. Procedimiento de calibración de la TDR con columnas experimentales

4. Metodología

El volumen medido por la sonda TDR utilizada forma una elipse tal como se representa en la figura 4.3. Para abarcar las posibles variaciones de medida según la posición de la sonda se realizaron tres medidas girando la sonda unos 60° cada vez y se promediaron.

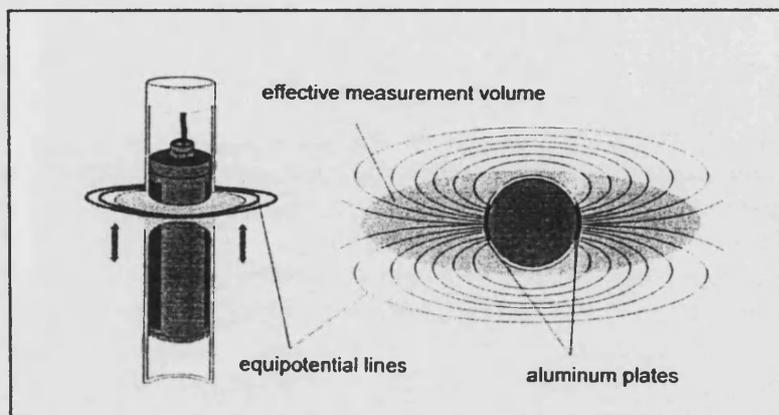


Figura 4.3. Volumen de medida efectiva (IMKO, 1996)

La instalación de los tubos en los perfiles en los campos se llevó a cabo cuidadosamente evitando remover el suelo para que las propiedades físicas permanecieran inalteradas. El tubo se introdujo suavemente con la ayuda de los accesorios del equipo permitiendo el máximo contacto del suelo con las paredes del tubo

Las limitaciones en la utilización de esta técnica de medida se encuentra en algunos materiales con elevados contenidos de materia orgánica y suelos muy arcillosos. Estos suelos deben ser calibrados de forma especial. Otro factor limitante es la conductividad eléctrica aparente del suelo que no debe exceder de 1 mS/cm ya que ocasiona interferencias en la lectura. En estos casos un método alternativo puede ser la utilización de la técnica de inducción electromagnética que describe la relación entre el contenido de humedad del suelo y la conductividad eléctrica aparente mediante un modelo de regresión lineal (Sheets & Hendrickx, 1995; Aringhieri & Giachetti, 2000; Aringhieri, 2002).

Referencia: IMKO, 1996.

4.1.2.2. Potencial matricial (*Tensiómetros*)

La medida del potencial matricial se ha tomado mediante un sensor Watermark modelo Irrrometer 30 KTCD-NL.

4.1.2.3. *Temperatura*

La temperatura se ha determinado mediante un termómetro de campo en los primeros 10 cm del perfil obteniéndose la media aritmética de tres repeticiones.

4.1.2.4. Muestreo de gases

La toma de gases se ha realizado con una jeringuilla de 60 ml, descartándose las tres primeras extracciones y sellando con una pinza para evitar la entrada de aire del exterior durante el proceso. En la cuarta toma se han inyectado 9 ml de aire en un tubo al vacío (Vacutainer) y se ha analizado en el laboratorio.

4.1.2.5. Muestreo de solución del suelo

Los muestreos de solución del suelo se han realizado mediante un tubo al vacío (Vacutainer) insertado en el dispositivo del captador (Rhizon sampler).

Solamente se han obtenido muestras en el perfil PRV. Estas muestras han sido insuficientes y por tanto no se han utilizado en el estudio.

4.1.2.6. Muestreo de agua freática

Únicamente en el perfil PRV se ha observado la presencia de la capa freática, tomándose la profundidad de la misma durante el periodo, así como muestras de agua que se han analizado en el laboratorio.

En el resto de perfiles la capa freática se encuentra por debajo del límite inferior del perfil.

4.1.2.7. Muestreo de aguas de riego

Se han tomado muestras de las aguas de riego utilizadas en cada parcela experimental y se han analizado en el laboratorio mediante cromatografía iónica.

4.1.2.8. Muestreo de suelos

En todos los perfiles se han tomado muestras de suelo cada 15 cm. En los perfiles PRI, PRII, PRIII, PRIV, PRV y PRVI se han tomado tres profundidades (0-15, 15-30 y 30-45 cm) mientras que en el perfil PRVII se han tomado dos (0-15 y 15-30 cm).

Estas muestras se han analizado en el laboratorio obteniéndose los valores de CE y RAS para la validación del modelo.

4.2. Análisis de laboratorio

4.2.1. Análisis propiedades físicas

4.2.1.1. Color

Para la determinación del color en los horizontes de los perfiles se han utilizado las tablas Munsell.

4. Metodología

Referencia: Munsell, 1923.

4.2.1.2. Densidad aparente

La densidad aparente se ha calculado por el método del cilindro, con cilindros de acero inoxidable de 5 cm de diámetro y volumen de 100 cm³, llevando las muestras a la estufa a 105°C. El cálculo se realiza mediante la ecuación siguiente:

$$D_{ap} = m / V$$

Siendo: m: Masa de suelo (Kg) y V: volumen del cilindro (L)

El método del cilindro inalterado es poco adecuado cuando la fracción gruesa y muy gruesa es elevada. En estos casos es conveniente tomar cilindros de mayor volumen. Los perfiles analizados presentan una elevada fracción de elementos gruesos por ello se han tomado varios tamaños de cilindros (100, 250 y 500 cm³).

Referencia: Blake, 1965.

4.2.1.3. Densidad real

Se ha utilizado el método del picnómetro. El picnómetro es un recipiente de cristal en cuya abertura se inserta una pieza con forma de capilar abierto en su extremo superior y un termómetro de mercurio que se encuentra siempre en contacto con el líquido del interior. En la determinación se han utilizado picnómetros de 25 ml de volumen.

Referencia: U. S. D. A. 1973, pp. 122.

4.2.1.4. Porosidad

La porosidad total puede ser calculada a partir de los valores de densidad aparente y densidad real mediante la siguiente ecuación:

$$P = (1 - \rho_a / \rho_r)$$

Siendo: ρ_a : Densidad aparente; ρ_r : Densidad real y P: Porosidad total.

La relación ρ_a / ρ_r corresponde a la fracción del volumen total ocupado por sólidos y este valor restado a la unidad es el volumen total ocupado por los poros.

El valor de la porosidad debe corresponder aproximadamente al valor de humedad en saturación.

Referencia: Klute, 1987. Capítulo 18, pp. 443-449.

4.2.1.5. Humedad de campo

La humedad de campo gravimétrica (g/g) se ha obtenido a partir de las muestras obtenidas en los cilindros inalterados mediante diferencia entre el peso en húmedo y en seco. La humedad de campo puede ser expresada en porcentaje o en valor unitario.

$$\text{Humedad de campo (g/g)} = W_w/W_s$$

Siendo: W_w : El contenido de agua en la muestra de suelo obtenido por diferencia entre peso húmedo y peso seco expresado en gramos. W_s : Peso suelo seco (g).

Para la obtención de la humedad de campo volumétrica (Theta v/v) se multiplica el valor de humedad de campo gravimétrica por la densidad aparente.

Referencia: Liu & Evett, 1984. Capítulo 2, pp. 5-13.

4.2.1.6. Límite plástico

El límite plástico es el punto de división entre el estado plástico y semisólido. Esto puede cuantificarse mediante un contenido de agua específico. Para ello tomamos una porción de muestra húmeda y la trabajamos con los dedos sobre un cristal hasta formar un bastoncillo de 3.2 mm aproximadamente de diámetro y unos 10 cm de longitud. Este proceso debe repetirse hasta el momento en que el bastoncillo se resquebraja y seguidamente pesamos la muestra. A continuación secamos la muestra en estufa a 105°C y pesamos nuevamente. El contenido de humedad expresado en porcentaje o unitario se obtiene por diferencia de pesada dividido por el peso seco.

Referencia: Liu & Evett, 1984. Capítulo 5, pp. 39-47.

4.2.1.7. Análisis mecánico

El análisis granulométrico se ha realizado siguiendo el método del densímetro de Bouyoucos (Boyucos, 1962). La suspensión se mantiene en un baño a 30°C durante todo el análisis de forma que no sea necesaria la corrección de temperatura. No se han realizado tratamientos previos de eliminación de materia orgánica y sales solubles debido a que el bajo contenido en las muestras no interfiere en el análisis.

El método del densímetro permite realizar numerosas medidas en la misma suspensión de manera que la curva de distribución granulométrica puede obtenerse de forma detallada con un mínimo esfuerzo.

Referencia: American Society for Testing and Materials 1985.

4.2.1.8. Curvas de humedad

Existen diversos métodos para determinar las curvas de humedad (De Backer & Klute, 1967; Marion et al., 1994). El método tradicional para la determinación de las curvas de retención de agua establece una serie de equilibrios entre el agua de la muestra de suelo y

4. Metodología

un potencial de presión conocido. Este método se denomina membrana de presión. Para cada presión matricial (h_m) creciente obtenemos un valor de humedad (θ) de la muestra, cada par (θ , h_m) constituye un punto de la función de retención. La curva de humedad se establece mediante series de equilibrio por drenaje en valores crecientes de presión.

A partir de las muestras inalteradas tomadas con los cilindros de acero inoxidable se han obtenido con la olla a presión seis puntos partiendo del punto de saturación (0 kPa) hasta el punto de marchitez permanente (-1500 kPa) incluyendo el punto a capacidad de campo (-33 kPa). Estos puntos corresponden a los potenciales siguientes: 0, -33, -100, -500, -1000 y -1500 kPa.

Por otra parte las curvas de humedad pueden estimarse a partir de la textura mediante ecuaciones de edafotransferencia. La utilización de estas ecuaciones constituye un método que ofrece resultados satisfactorios (Dexter & Bird, 2001). Entre ellas, se ha seleccionado las ecuaciones de Saxton (Saxton et al., 1986) para comparar con los resultados experimentales. Las ecuaciones de Saxton estiman los contenidos de humedad a partir de los porcentajes de arcilla y arena calculando los coeficientes A y B mediante la ecuación simplificada de la curva de retención:

$$\psi = A \theta^B$$

donde θ es el contenido de humedad, ψ es el potencial del suelo, A es una función del potencial de entrada de aire y el contenido de humedad en saturación ($A = \psi_e \theta_s^{-B}$) y B es un valor fijo. ψ_e es el potencial del suelo para la entrada de aire, ψ_e y B se corresponden con los parámetros de Campbell.

A y B pueden ser calculados utilizando las siguientes ecuaciones:

$$A = \text{EXP}(-4.396 - 0.0715\% \text{Arc} - 4.880\text{E-}04\% \text{Arn}^2 - 4.285\text{E-}05\% \text{Arn}^2\% \text{Arc})100$$

$$B = -3.140 - 2.22\text{E-}03\% \text{Arc}^2 - 3.484\text{E-}05\% \text{Arn}^2\% \text{Arc}$$

Despejando Theta (θ) en la ecuación de retención, obtenemos las expresiones para los puntos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente:

$$\theta_{CC} = (0.3333/A)^{1/B}$$

$$\theta_{PMP} = (15/A)^{1/B}$$

$$\theta_s = 0.332 - 0.0007251\% \text{Arn} + 0.1276 \log_{10}\% \text{Arc}$$

Los coeficientes A y B se calculan para las texturas definidas por el sistema de la USDA en el que la fracción arena se encuentra entre 2-0.05 mm, la fracción limo entre 0.05-0.002

mm y la fracción arcilla por debajo de 0.002 mm. Las ecuaciones de Rawls & Brakensiek (1985) descritas en el modelo también se basan en el sistema USDA. Estas ecuaciones son válidas para porcentajes de arena y arcilla entre:

$$5\% \leq \% \text{ arena} \leq 30\% \text{ y } 8\% \leq \% \text{ arcilla} \leq 58\%$$

$$30\% \leq \% \text{ arena} \leq 95\% \text{ y } 5\% \leq \% \text{ arcilla} \leq 60\%$$

La curva de retención de agua es sigmoideal y continua y se divide en tres segmentos (ver figura 4.4). En el primer segmento los potenciales se encuentran entre -1500 y -10 kPa, en este segmento se pueden aplicar las ecuaciones descritas. El segundo segmento se encuentra entre -10 y ψ_e (parámetro a de Campbell, dependiente de la textura) y se describe mediante una ecuación lineal. El tercer segmento es constante y va desde el potencial de entrada de aire (ψ_e) a potencial 0.0 kPa.

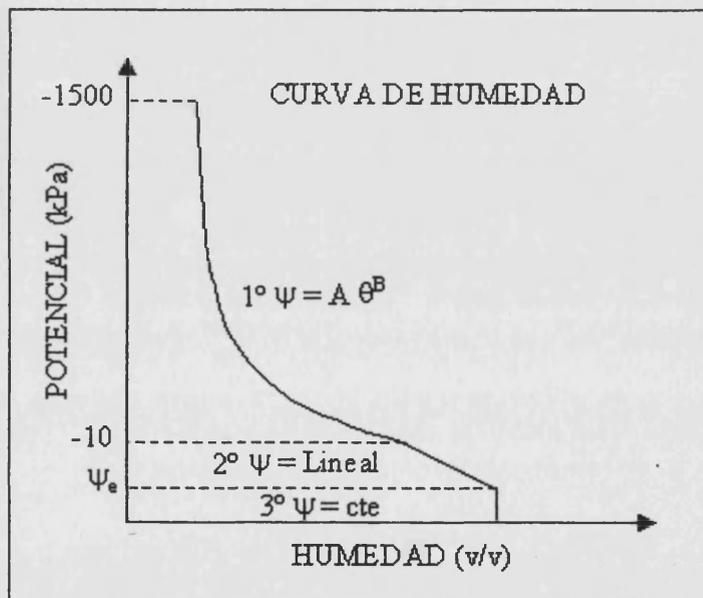


Figura 4.4. Segmentos de la curva de humedad

Las curvas de retención obtenidas en el laboratorio con la olla a presión describen el primer tramo (ψ entre -33 y -1500 kPa) de la función sigmoideal. A partir de estas curvas se han calculado los parámetros de Campbell mediante el ajuste de los valores experimentales a una función potencial ($y = a x^b$). El valor de la humedad en saturación (0 kPa) se utiliza para representar la fracción de humedad (θ/θ_s) en las curvas de retención de Campbell.

Referencias: Eijkelkamp 1995a y Saxton et al., 1986.

4. Metodología

4.2.1.9. Conductividad hidráulica

La medida de la conductividad hidráulica de suelos saturados en el laboratorio se basa en la aplicación directa de la ecuación de Darcy en una columna de suelo saturado y de sección uniforme. El flujo de agua medido es el resultado de la aplicación de una diferencia de presión hidráulica. La conductividad se puede calcular con la ecuación:

$$K_s = VI/[At(h_2-h_1)]$$

Siendo: V: Volumen de agua que pasa a través de la sección A en el tiempo t y (h_2-h_1) la diferencia de carga hidráulica sobre la muestra de longitud l.

La conductividad hidráulica se ha medido con un permeámetro Eijkelkamp.

Referencia: Eijkelkamp 1995b.

4.2.2. Análisis de propiedades químicas y fisico-químicas

4.2.2.1. Extracto de la pasta saturada y extracto 1:5

Las sales solubles de las muestras de suelo se han determinado mediante la medida de concentración de cationes y aniones a partir del extracto de pasta saturada y del extracto 1:5.

El extracto de pasta saturada se obtiene al añadir al suelo seco agua ultrapura millipore hasta el punto de saturación de la muestra. Tras un reposo de 8 horas se procede a la centrifugación de la muestra y a la obtención del sobrenadante o extracto de pasta saturada. Este extracto de saturación es repetible para cada tipo de suelo y permite establecer comparaciones entre las composiciones iónicas de la solución del suelo y observar su evolución espacio-temporal.

El extracto 1:5 se obtiene mediante la adición de cinco partes de agua frente una parte de muestra de suelo. Esta suspensión se mantiene en agitación durante cinco horas tras lo cual se procede al filtrado de la suspensión, obteniéndose el extracto.

Referencia: Van Reeuwijk, 1992. Capítulo 13.

4.2.2.1.1. Aniones y cationes

Los aniones y cationes del extracto de pasta saturada y extracto 1:5 se han determinado mediante cromatografía iónica con un aparato Shimadzu con una columna policarboxilica Shimadzu Shim-Pack IC-C3 que permite separar simultáneamente iones alcalinos, alcalinotérreos y amonio. La importancia de este análisis múltiple de cationes mono y divalentes es que minimiza los errores debidos a la manipulación y permite obtener rápidamente los resultados.

Esta determinación ha sido llevada a cabo en el laboratorio por Estrella Batlle-Montero que previamente al análisis realizó un estudio comparativo con diferentes fases móviles: ácido sulfúrico, ácido oxálico y ácido tartárico con el fin de seleccionar la fase móvil más adecuada. El procedimiento de análisis y la selección de la fase móvil utilizada se describe en Batlle-Montero (2001).

Referencia: Batlle-Montero, 2001.

4.2.2.1.2. pH

La medida de pH se ha realizado directamente a partir de los extractos 1:5 y pasta saturada utilizando un electrodo combinado (pHmetro).

Referencia: Van Reeuwijk, 1992. Capítulo 13 pp. 13-2.

4.2.2.1.3. CE

La salinidad del suelo se ha obtenido mediante la determinación de la conductividad eléctrica a partir de los extractos 1:5 y pasta saturada con un conductímetro que incorpora la corrección por temperatura.

Existen otros métodos para determinar la salinidad en el suelo (Yadav et al., 1979; Rhoades, 1982; Rhoades & Oster, 1986; Aragués et al., 1986; Jurinak & Suárez, 1990; Keren, 2000). Los métodos más utilizados, obtenidos a partir del extracto de saturación, son la determinación de los sólidos disueltos totales (TDS), el análisis químico iónico (C), la fuerza iónica (I) y el potencial osmótico (PO). La relación entre la CE y estos parámetros es:

$$\text{TDS (ppm)} = 640 \text{ CE (dS/m)}$$

$$\text{C (meq/l)} = 10.11 (\pm 1.31) \text{ CE (dS/m)}$$

$$\text{I (mmol/l)} = 12.7 \text{ CE (dS/m)}$$

$$\Psi_o \text{ (Mpa)} = -0.036 \text{ CE (dS/m)}$$

TDS/CE (U. S. Salinity Laboratory Staff, 1954), C/CE (Tanji & Biggar, 1972), I/CE (Griffin & Jurinak, 1973) y Ψ_o /CE (U. S. Salinity Laboratory Staff, 1954).

Por otra parte, la salinidad del suelo también puede medirse directamente en el campo con diferentes instrumentos (Rhoades, 1978; 1992): sonda de succión, sonda de cuatro electrodos (Rhoades & Ingvalson, 1971; Halvorson et al., 1977) y el sensor electromagnético o EM38 (Rhoades & Corwin, 1981; Corwin & Rhoades, 1982; 1984; Rhoades, 1990; 1993; Dalton & Poss, 1990; Lesch et al., 1992; 1998).

Referencia: Van Reeuwijk, L. P. 1992. Capítulo 13 pp. 13-2 ; 13-3.

4. Metodología

4.2.2.1.4. RAS y PSI

La relación de absorción de sodio (RAS) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de los extractos 1:5 y pasta saturada se han obtenido aplicando las ecuaciones:

$$\text{RAS} = \text{Na} / (\sqrt{((\text{Ca} + \text{Mg})/2)})$$

$$\text{PSI} = 100 * (0.01475\text{RAS} - 0.0126) / (1 + (0.01475\text{RAS} + 0.9874))$$

Referencia: Van Reeuwijk, 1992. Capítulo 13 pp 13-6.

4.2.2.2. CIC

La determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se ha realizado siguiendo el método de Plata thiourea. Este método se basa en la fuerte afinidad del complejo monovalente (AgTU) hacia las superficies coloidales cargadas negativamente. Para ello se lleva a cabo una extracción con AgTU 0.01M por centrifugación hasta el completo intercambio de los cationes adsorbidos por plata. El sobrenadante que contiene los cationes de intercambio y el excedente de plata se analiza con un instrumento de absorción atómica.

Esta determinación ha sido llevada a cabo por Estrella Batlle-Montero.

Referencia: Van Reeuwijk, 1992. Capítulo 10.

4.2.2.3. Materia Orgánica

Se ha utilizado el método de Walkley-Black. La materia orgánica presente en la muestra reacciona con una mezcla de dicromato potásico y ácido sulfúrico en exceso alrededor de 125°C. El dicromato sobrante se valora con sulfato férrico y se relaciona con la materia orgánica y el carbono orgánico mediante la siguiente ecuación:

$$C = M \cdot (V1 - V2) / s \cdot 0.0039 \cdot \text{mcf}$$

donde M es la molaridad de la solución de sulfato ferroso (blanco), V1 y V2 son los ml necesarios de sulfato ferroso para el blanco y la muestra respectivamente, s es el peso de la muestra seca (g) y mcf es el factor de corrección de humedad.

Referencia: Van Reeuwijk, 1992. Capítulo 5.

4.2.2.4. Carbonatos

La determinación de carbonatos se ha realizado por el método de Piper mediante neutralización ácida. La muestra se trata con ácido diluido y el exceso es tirado con una solución de NaOH. El resultado se relaciona con el carbonato cálcico de la muestra mediante la siguiente ecuación:

$$\text{CaCO}_3 \text{ equivalente} = M \cdot (a - b) / s \cdot 0.5 \cdot \text{mcf}$$

donde M es la molaridad de la solución de NaOH, a y b son, respectivamente, los ml utilizados de NaOH para el blanco y la muestra y mcf es el factor de corrección de humedad.

Referencia: Van Reeuwijk, 1992. Capítulo 7.

4.2.2.5. Yesos

Los yesos se disuelven por agitación de la muestra con agua. Mediante la adición de acetona se procede a la precipitación de los yesos. Este precipitado es rediseuelto en agua y el yeso se determina por la medición de la concentración de Calcio en solución mediante absorción atómica.

Referencia: Van Reeuwijk, 1992. Capítulo 8.

4.3. Datos climáticos

A partir de los datos obtenidos de una estación meteorológica instalada en la parcela del perfil PRV durante el periodo 1999-2000 se han calculado los parámetros climáticos requeridos por el modelo LEACHM: Lluvias diarias, ETo semanal, temperatura media semanal y amplitud térmica semanal.

La evapotranspiración potencial (ETo) se ha calculado aplicando la ecuación recomendada por FAO basada en la ecuación de Penman-Monteith. (Monteith, 1981). La ecuación de Penman-Monteith es la que mejor se ajusta a los valores experimentales (Villamán et al., 2001) aunque existen otras alternativas para determinar la ETo (Kirsch, 1993).

La evapotranspiración de referencia (ETo) se define como la fracción de la evapotranspiración para un cultivo hipotético, asumiendo una altura del cultivo de 12 cm, una resistencia fija de 70 sm^{-1} y un albedo de 0.23. Esta ecuación se basa en los valores climáticos de la radiación solar, las temperaturas máximas y mínimas, la humedad relativa máxima y mínima y la velocidad del viento corregida a una altura de dos metros sobre el suelo. Esta ecuación se divide en dos términos la evapotranspiración debida a la radiación ET_{rad} y el término aerodinámico ET_{aero} . El término de radiación ET_{rad} se expresa como una función de la radiación solar mientras que el término aerodinámico ET_{aero} se expresa como función de la velocidad del viento, la presión de vapor y la temperatura del aire.

Combinando los términos aerodinámico y radiación se obtiene la siguiente ecuación:

$$\lambda ETo = (0.408\Delta(R_n - G) + \gamma(900/T + 273) U_2(e_a - e_d) / (\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2))$$

donde ETo es la evapotranspiración de referencia del cultivo (mm d^{-1}), R_n es la radiación neta de la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), G es el flujo térmico del suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), T es la temperatura media ($^{\circ}\text{C}$), U_2 es la velocidad del aire medida a 2 m de altura (m s^{-1}), ($e_a -$

e_d) es el déficit de presión de vapor (kPa), Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹), γ es la constante psicométrica (kPa °C⁻¹) y 900 es un factor de conversión.

Referencia: Clarke et al., 1998.

4.4. Modelos: LEACHM, CROPWAT, WATSUIT y CHEMEQ

4.4.1. LEACHM: Calibración y validación

Para llevar a cabo la calibración y validación de un modelo es necesario disponer de una parcela experimental o columna de laboratorio en la cual instalar los dispositivos de monitorización a las profundidades especificadas en el modelo. Estos dispositivos permiten medir los valores iniciales de las propiedades requeridas para la ejecución del modelo y su evolución a lo largo del tiempo (Connell et al., 2001a; 2001b).

El proceso de calibración permite escoger entre las diferentes opciones del modelo y optimizarlas para las condiciones experimentales. Entre los parámetros que deben calibrarse se encuentran: el modelo de flujo, modelo de retención, pendientes, número de curva, parámetro de interacción de poros, espaciado de los nodos, intervalo de tiempo para los cálculos, dispersividad y parámetros del cultivo. El análisis de sensibilidad multiparamétrico puede realizarse con el programa PEST (Watermark Computing, 2002, Batlle-Sales, 2003).

A partir de las propiedades analizadas del sistema considerado se ejecuta el modelo obteniendo unos resultados estimados que se comparan con las observaciones haciendo corresponder las fechas de salida del modelo con las fechas de monitorización.

La calibración y validación del modelo permite seleccionar las opciones más adecuadas y ajustarlas a los suelos estudiados de forma que se pueda utilizar como herramienta de diagnóstico y prevención en el análisis de situaciones adversas y como evaluador de la eficacia de las medidas correctoras.

Dependiendo del modelo seleccionado se establecen una serie de variables que deben ser monitorizadas para la validación del modelo. En general los dispositivos más utilizados en la monitorización de un perfil son los tensiómetros y los muestreadores de la solución del suelo (Palacios et al., 1999), de forma que se obtiene información sobre el contenido de humedad del suelo y sobre la composición iónica de la solución en cada profundidad.

El estudio de la correspondencia de los valores estimados por el modelo con los valores medidos puede abordarse mediante el análisis estadístico con el fin de validar el modelo y determinar su eficacia (Spurlock, 2000; Hagi-Bishow & Bonnell, 2000). Los índices estadísticos utilizados en la validación son: el coeficiente de masa residual (CRM), la raíz del error cuadrático medio (RMSE), eficiencia del modelo (EF) y el coeficiente de determinación (CD).

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{n\bar{O}}$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} * \frac{100}{\bar{O}}$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}$$

donde P_i son los valores estimados, O_i son las observaciones, \bar{O} la media de las observaciones y n el número de muestras.

El índice RMSE destaca cuánto sobreestimadas o subestimadas se encuentran las simulaciones respecto de las medidas. El estadístico CD muestra la relación entre la dispersión de los valores de la simulación respecto de la media de las observaciones. El índice EF compara los valores simulados con la media de los valores medidos de manera que un valor negativo de EF indica que la media de las medidas ofrece una mejor estimación que las simulaciones. Por último, el índice CRM es un indicador de la tendencia del modelo a sobreestimar o subestimar las medidas. Valores positivos de CRM indican una subestimación por parte del modelo mientras que valores negativos indican una tendencia a sobreestimar las medidas. Un ajuste perfecto entre las observaciones y las simulaciones darían los siguientes valores: RMSE = 0.0, CRM = 0.0, CD = 1.0 y EF = 1.0.

Procedimiento de calibración y validación del modelo LEACHM:

1. Selección del modelo de flujo y el modelo de retención
2. Preparación de los ficheros de entrada con los datos de los perfiles, cultivos, clima y riego
3. Ajuste de las variables del modelo a las condiciones reales (pendiente, número de curva, flujo de infiltración etc.)
4. Análisis de sensibilidad de los parámetros mediante la ejecución de numerosos ficheros considerando un parámetro cada vez
5. Verificación del modelo utilizando los valores medidos en el campo y comparando los resultados estimados por el modelo con los índices estadísticos

4.4.2. Análisis de escenarios: metodología

Se han analizado todos los escenarios posibles resultantes de la combinación de diferentes tipos de suelo con diferentes calidades de agua para obtener los programas de riego más adecuados a cada sistema de riego. Para ello se ha utilizado el procedimiento recomendado por FAO ligeramente modificado por Batlle y Hurtado (2002) (figura 4.5).

4. Metodología

A partir de los datos climáticos y de suelos, usando ecuaciones de edafotransferencia para estimar las propiedades hidráulicas, se confeccionan las tablas de datos de entradas necesarias para el diseño de escenarios en el programa CROPWAT. Por otra parte las calidades de las aguas se introducen en el CHEMEQ calculando la composición de las mezclas y diluciones debidas al efecto de la lluvia. Con estos datos se ejecuta el programa WATSUIT y se selecciona la fracción de drenaje óptima basándose en las tablas de tolerancia de los cultivos (Rhoades, et al., 1992) y el diagrama de Wilcox (1948). La fracción de drenaje obtenida se introduce en el programa CROPWAT y se calcula el riego óptimo. Este procedimiento se lleva a cabo en todos los escenarios estableciendo recomendaciones en la programación de los riegos y la utilización de aguas de baja calidad.

Procedimiento del análisis de escenarios:

1. WATSUIT: Cálculo de la fracción mínima de drenaje según tolerancia del cultivo, riesgo del suelo y toxicidad por cloruros para el riego convencional o infrecuente y riego por goteo o frecuente.
2. CROPWAT: A partir de las ecuaciones de edafotransferencia y los datos climáticos cálculo de los requerimientos hídricos del cultivo que se combinan con la fracción de drenaje obtenida anteriormente para calcular el riego mínimo.
3. LEACHM: Se ejecutan los ficheros de entrada de cada perfil con los riegos obtenidos anteriormente y se evalúan los riesgos. A partir de los resultados se minimiza el potencial matricial y se obtiene el riego óptimo. Por otra parte se evalúan dos estrategias de riego: (1) riego en invierno con agua de peor calidad y riego en verano con agua de mejor calidad y (2) riego con agua previamente mezclada en una balsa.

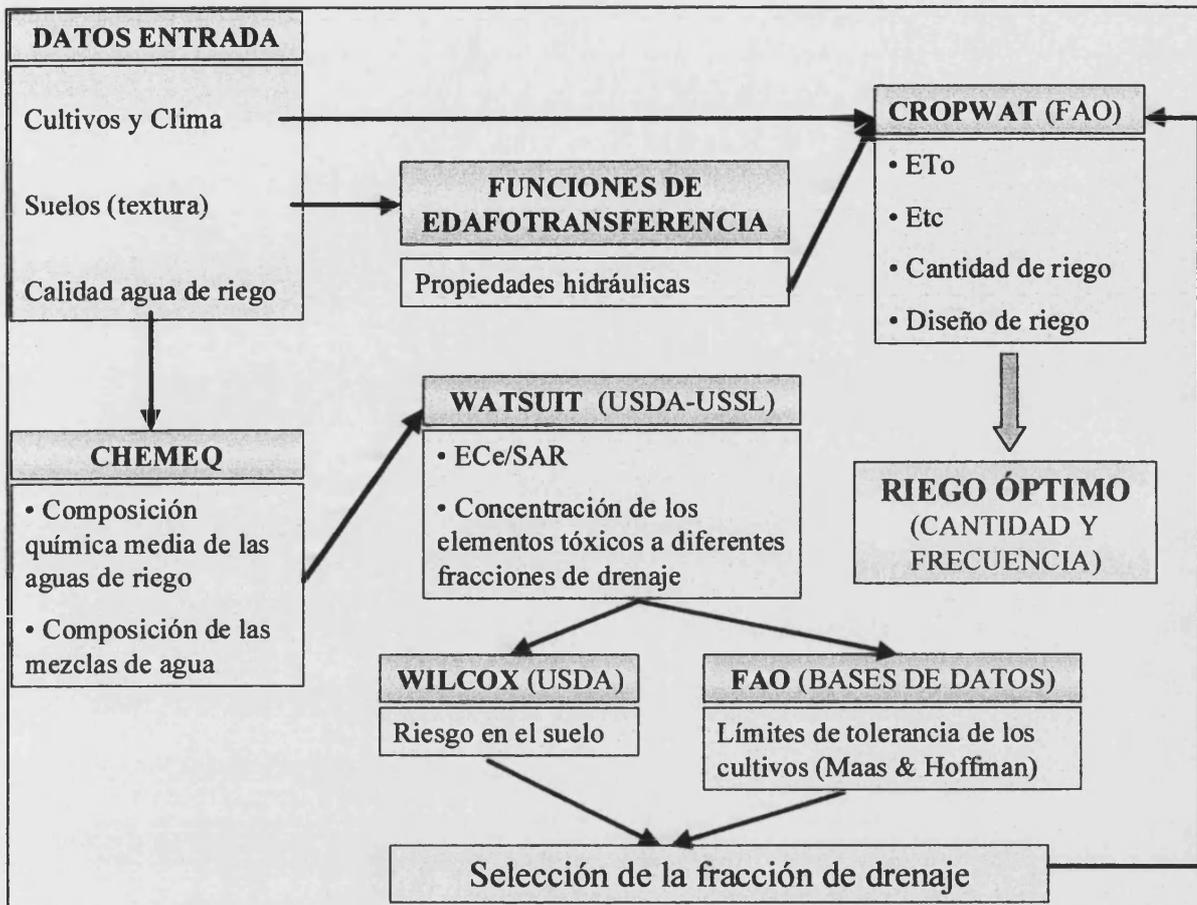


Figura 4.5. Procedimiento del análisis de escenarios (Batlle-Sales & Hurtado, 2002)

5. Datos de entrada

5.1. Perfiles

5.1.1. Fecha, localización y descripción

A continuación se describen los perfiles seleccionados como representantes de los tipos de suelo presentes en Torreblanca (tablas 5.1-5.7 y figuras 5.1-5.10).

Tabla 5.1. **PERFIL I**

Fecha:	25/01/99
Elevación:	36 metros snm
Latitud (UTM):	4456600 N
Longitud (UTM):	261300 E
Referencia:	PRI
Localización:	El Calvari
Hoja:	594 (31-22)
Cuadrícula:	III
Área de estudio:	Torreblanca
Autor (es):	Batlle-Sales, J.; Bordás-Valls, V. & Hurtado-Soler, A.
Clasificación (Soil Taxonomy 1998):	Typic Calcixerept
Régimen de humedad:	Xérico
Régimen de temperatura:	Mesotérmico
Topografía:	Plana
Geomorfología:	Llano aluvial
Posición fisiográfica:	Abanico aluvial
Emplazamiento del perfil:	Parte más elevada
Pendiente:	Suavemente inclinado (2.9%)
Microtopografía:	Caballones perpendiculares a la pendiente
Inundación:	Desconocido
Uso del terreno:	Cultivo de riego
Cultivos:	Cítricos
Vegetación:	Cultivo
Cobertura de herbáceas:	Ninguna
Material Original:	Terreno coluvial

5. Datos de entrada

Roca madre:	Conglomerados calizos
Drenaje:	Imperfecto; lento
Capa freática:	No observada
Condición de humedad:	Húmedo
Profundidad útil:	90 cm
Influencia antrópica:	Riego y cultivo de cítricos. Riego por inundación
Piedras/Tamaño:	Muchas/Gravas
Afloramientos rocosos:	Ninguno
Erosión Tipo/Intensidad:	Ligera/Laminar
Cementación/Encostramiento:	Ninguna

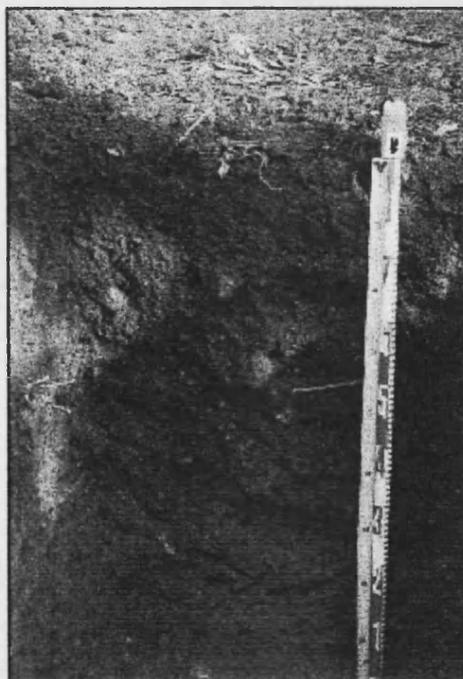


Figura 5.1. Perfil PRI

Tabla 5.2. **PERFIL II**

Fecha:	25/01/99
Elevación:	8 metros snm
Latitud (UTM):	4453770 N
Longitud (UTM):	260910 E
Referencia:	PRII
Localización:	Pou Ibáñez
Hoja:	594 (31-22)
Cuadrícula:	III
Área de estudio:	Torreblanca
Autor (es):	Batlle-Sales, J.; Bordás-Valls, V. & Hurtado-Soler, A.
Clasificación (Soil Taxonomy 1998):	Typic Calcixerept
Régimen de humedad:	Xérico
Régimen de temperatura:	Mesotérmico
Topografía:	Plana
Geomorfología:	Llano aluvial
Posición fisiográfica:	Llano
Emplazamiento del perfil:	Parte baja
Pendiente:	Llano (0.2%)
Microtopografía:	Nivelado con caballones
Inundación:	Riego goteo
Uso del terreno:	Cultivo de riego
Cultivos:	Cítricos
Vegetación:	Cultivo
Cobertura de herbáceas:	Ninguna
Material Original:	Terreno aluvial
Roca madre:	Conglomerados calizos
Drenaje:	Imperfecto/Lento
Capa freática:	No observada
Condición de humedad:	Húmedo
Profundidad útil:	95 cm
Influencia antrópica:	Cultivos y riego goteo

5. Datos de entrada

Piedras/Tamaño:	Muchas/Gravas
Afloramientos rocosos:	Ninguno
Erosión Tipo/Intensidad:	Ligera/Laminar
Cementación/Encostramiento:	Ninguna



Figura 5.2. Localización perfil PRII

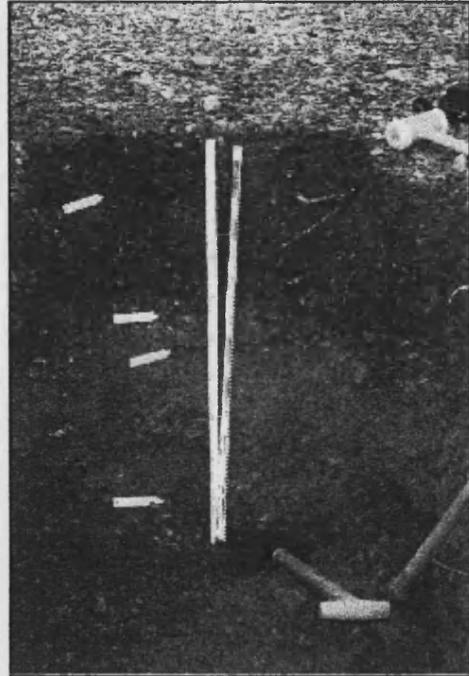


Figura 5.3. Perfil PRII

Tabla 5.3. **PERFIL III**

Fecha:	26/01/99
Elevación:	8 metros snm
Latitud (UTM):	4452930 N
Longitud (UTM):	260380 E
Referencia:	PRIII
Localización:	Ratlla del terme
Hoja:	594 (31-22)
Cuadrícula:	III
Área de estudio:	Torreblanca
Autor (es):	Battle-Sales, J.; Bordás-Valls, V. & Hurtado-Soler, A.
Clasificación (Soil Taxonomy 1998):	Typic calcixerept
Régimen de humedad:	Xérico
Régimen de temperatura:	Mesotérmico
Topografía:	Plana
Geomorfología:	Llano aluvial
Posición fisiográfica:	Llano
Emplazamiento del perfil:	Parte baja
Pendiente:	Llano (0.2%)
Microtopografía:	Caballones perpendiculares a la pendiente
Inundación:	Riego goteo
Uso del terreno:	Cultivo de riego
Cultivos:	Cítricos
Vegetación:	Cultivo
Cobertura de herbáceas:	Ninguna
Material Original:	Terreno aluvial
Roca madre:	Calizas
Drenaje:	Medio/Lento
Capa freática:	No observada
Condición de humedad:	Seco
Profundidad útil:	90 cm
Influencia antrópica:	Cultivo con riego goteo

5. Datos de entrada

Piedras/Tamaño:	Frecuentes/Gravas
Afloramientos rocosos:	Ninguno
Erosión Tipo/Intensidad:	Ligera/Laminar
Cementación/Encostramiento:	Ninguna

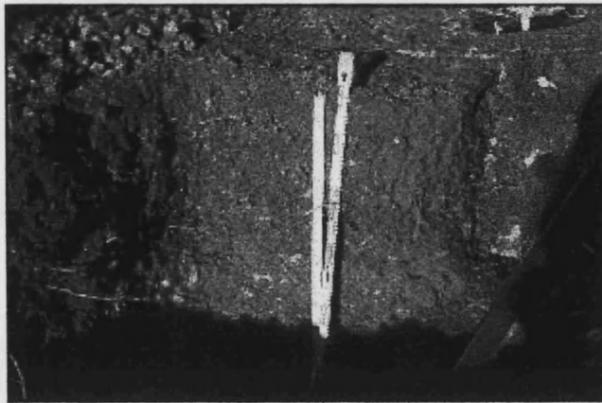


Figura 5.4. Perfil PRIII

Tabla 5.4. **PERFIL IV**

Fecha:	25/01/99
Elevación:	11 metros snm
Latitud (UTM):	44549200 N
Longitud (UTM):	262800 E
Referencia:	PRIV
Localización:	Cabeza del Tato
Hoja:	594 (32-22)
Cuadrícula:	III
Área de estudio:	Torreblanca
Autor (es):	Batlle-Sales, J.; Bordás-Valls, V. & Hurtado-Soler, A.
Clasificación (Soil Taxonomy 1998):	Typic Calcixerept
Régimen de humedad:	Xérico
Régimen de temperatura:	Mesotérmico
Topografía:	Plana
Geomorfología:	Llano aluvial
Posición fisiográfica:	Llano
Emplazamiento del perfil:	Parte baja
Pendiente:	Llano (0.2%)
Microtopografía:	Caballones perpendiculares a la pendiente
Inundación:	Desconocida
Uso del terreno:	Cultivo de riego
Cultivos:	Cítricos
Vegetación:	Cultivo
Cobertura de herbáceas:	Ninguna
Material Original:	Terreno aluvial
Roca madre:	Conglomerados calizos
Drenaje:	Imperfecto/Lento
Capa freática:	No observada
Condición de humedad:	Húmedo
Profundidad útil:	70 cm
Influencia antrópica:	Cultivo de cítricos con riego por inundación

5. Datos de entrada

Piedras/Tamaño:	Muchas/Gravas
Afloramientos rocosos:	Ninguno
Erosión Tipo/Intensidad:	Ligera/Laminar
Cementación/Encostramiento:	Ninguna



Figura 5.5. Localización perfil PRIV

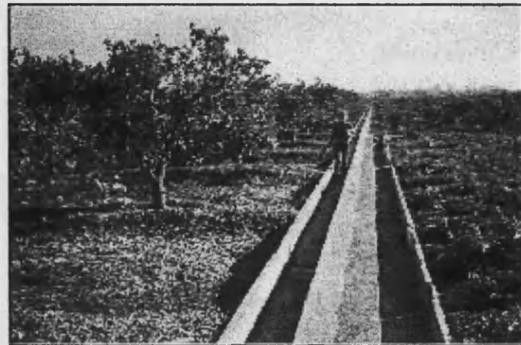


Figura 5.6. Canal de riego

Tabla 5.5. **PERFIL V**

Fecha:	01/02/99
Elevación:	33 metros snm
Latitud (UTM):	4457770 N
Longitud (UTM):	265760 E
Referencia:	PRV
Localización:	Cova del Plá
Hoja:	594 (31-22)
Cuadrícula:	III
Área de estudio:	Alcalá de Chivert
Autor (es):	Battle-Sales, J.; Bordás-Valls, V. & Hurtado-Soler, A.
Clasificación (Soil Taxonomy 1998):	Petrocalcic Calcixerept
Régimen de humedad:	Xérico
Régimen de temperatura:	Mesotérmico
Topografía:	Plana
Geomorfología:	Llano aluvial
Posición fisiográfica:	Llano
Emplazamiento del perfil:	Parte media
Pendiente:	Llano (1%)
Microtopografía:	Caballones perpendiculares a la pendiente
Inundación:	Riego goteo
Uso del terreno:	Cultivo de riego
Cultivos:	Cítricos
Vegetación:	Cultivo
Cobertura de herbáceas:	Ninguna
Material Original:	Terreno aluvial
Roca madre:	Conglomerados calizos
Drenaje:	Muy pobre/Lento
Capa freática:	No observada
Condición de humedad:	Húmedo
Profundidad útil:	42 cm
Influencia antrópica:	Riego goteo

5. Datos de entrada

Piedras/Tamaño:	Frecuentes/Gravas
Afloramientos rocosos:	Ninguno
Erosión Tipo/Intensidad:	Ligera/Laminar
Cementación/Encostramiento:	Costra

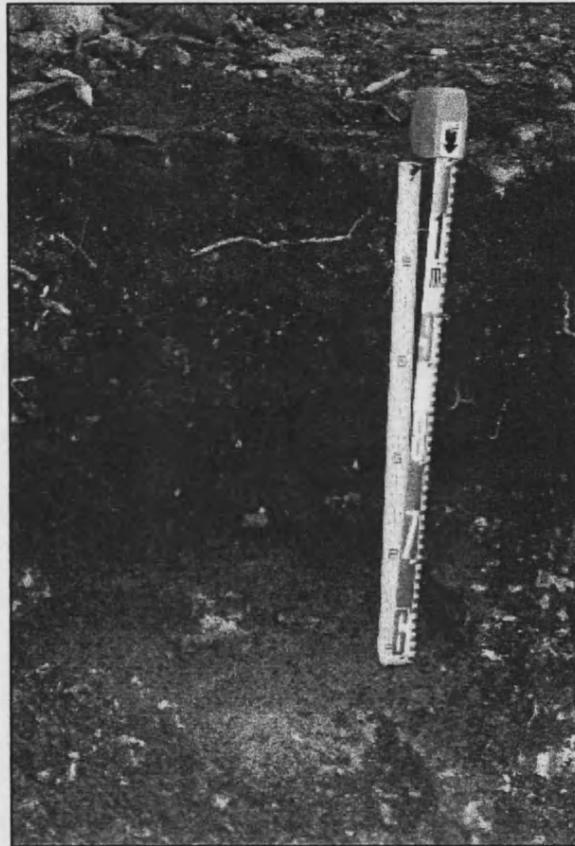


Figura 5.7. Perfil PRV

Tabla 5.6. **PERFIL VI**

Fecha:	01/02/99
Elevación:	38 metros snm
Latitud (UTM):	4456880 N
Longitud (UTM):	263640 E
Referencia:	PRVI
Localización:	Baseta Roja
Hoja:	594 (31-22)
Cuadrícula:	III
Área de estudio:	Torreblanca
Autor (es):	Batlle-Sales, J.; Bordás-Valls, V. & Hurtado-Soler, A.
Clasificación (Soil Taxonomy 1998):	Typic Calcixerept
Régimen de humedad:	Xérico
Régimen de temperatura:	Mesotérmico
Topografía:	Plana
Geomorfología:	Llano aluvial
Posición fisiográfica:	Llano
Emplazamiento del perfil:	Parte media
Pendiente:	Llano (0.6%)
Microtopografía:	Caballones oblicuos a la pendiente
Inundación:	Desconocida
Uso del terreno:	Cultivo de riego
Cultivos:	Cítricos
Vegetación:	Cultivo
Cobertura de herbáceas:	Ninguna
Material Original:	Terreno aluvial
Roca madre:	Conglomerados
Drenaje:	Imperfecto/Lento
Capa freática:	No observada
Condición de humedad:	Seco
Profundidad útil:	60 cm
Influencia antrópica:	Riego inundación

5. Datos de entrada

Piedras/Tamaño:	Muchas/Gravas
Afloramientos rocosos:	Ninguno
Erosión Tipo/Intensidad:	Ligera/Laminar
Cementación/Encostramiento:	Ninguna

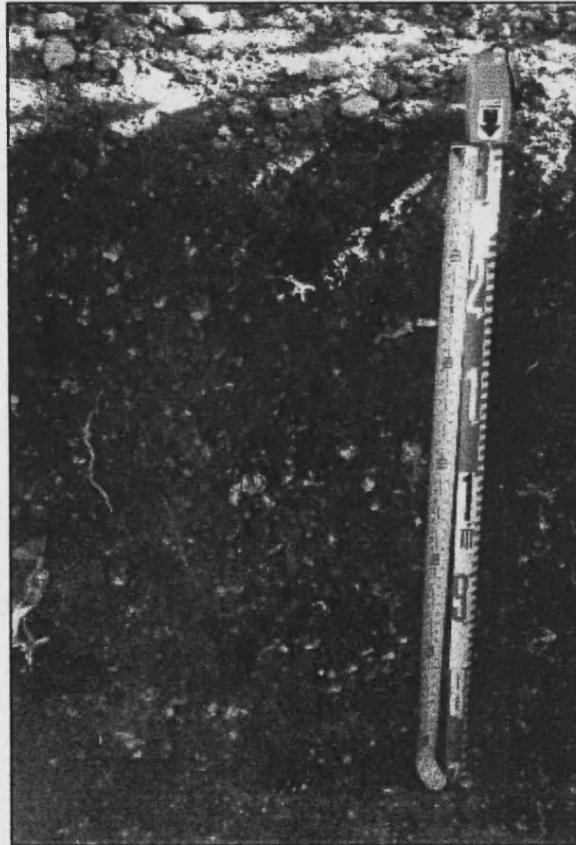


Figura 5.8. Perfil PRVI

Tabla 5.7. **PERFIL VII**

Fecha:	01/02/99
Elevación:	7 metros snm
Latitud (UTM):	4454200 N
Longitud (UTM):	263790 E
Referencia:	PRVII
Localización:	Caseta del Cantó
Hoja:	594 (31-22)
Cuadrícula:	III
Área de estudio:	Torreblanca
Autor (es):	Batlle-Sales, J.; Bordás-Valls, V. & Hurtado-Soler, A.
Clasificación (Soil Taxonomy 1998):	Lithic Calcixerept
Régimen de humedad:	Xérico
Régimen de temperatura:	Mesotérmico
Topografía:	Plana
Geomorfología:	Llano aluvial
Posición fisiográfica:	Llano
Emplazamiento del perfil:	Parte baja
Pendiente:	Llano (0.5%)
Microtopografía:	Caballones perpendiculares a la pendiente
Inundación:	Riego goteo
Uso del terreno:	Cultivo de riego
Cultivos:	Cítricos
Vegetación:	Cultivo y herbáceas
Cobertura de herbáceas:	10%
Material Original:	Terreno aluvial
Roca madre:	Calizas
Drenaje:	Imperfecto/Lento
Capa freática:	No observada
Condición de humedad:	Húmedo
Profundidad útil:	30 cm
Influencia antrópica:	Riego goteo

5. Datos de entrada

Piedras/Tamaño:	Muchas/Gravas
Afloramientos rocosos:	Ninguno
Erosión Tipo/Intensidad:	Ligera/Laminar
Cementación/Encostramiento:	Ninguna

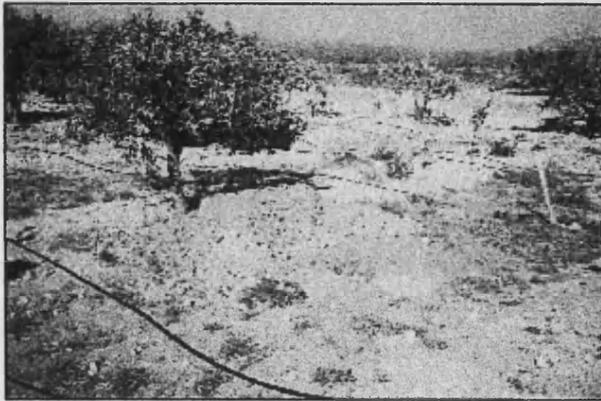


Figura 5.9. Localización perfil PRVII

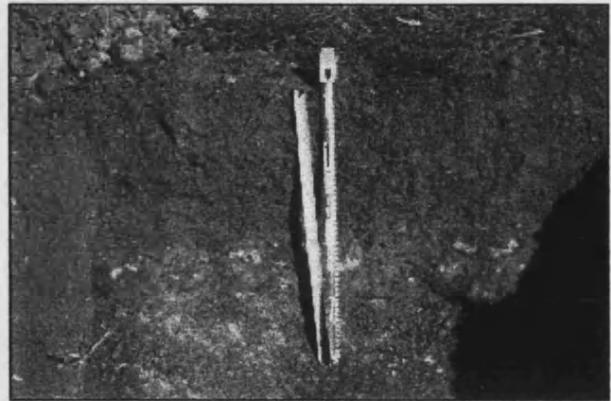


Figura 5.10. Perfil PRVII

5.1.2. Datos físicos, químicos y fisicoquímicos

Las tablas 5.8 – 5.14 contienen los datos obtenidos del análisis de los horizontes de cada perfil incluyendo los datos de campo observados en la apertura y muestreo.

5. Datos de entrada

Tabla 5.8.

PERFIL	FECHA	UTM E (m)	UTM N (m)
PRI	25/01/99	261300	4456600
HORIZONTE	REFERENCIA	PROFUNDIDAD (cm)	
Ap	PRH001	0-15	
B	PRH002	15-45	
B/R	PRH003	45-75	
R	PRH004	> 75	
DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES			
HORIZONTES	PRH001	PRH002	PRH003
HIDROMORFISMO			
Rasgos de hidromorfismo	NO	NO	NO
Manchas	NO	NO	NO
Color en seco	7.5YR4/4	7.5YR3/4	5YR3/4
ESTRUCTURA			
Grado	Débil	Moderado	Débil
Tamaño	Fino	Fino	Muy fino
Tipo	Bloque angular	Bloque angular	Bloque angular
CONSISTENCIA			
En seco	Ligeramente duro	Lig. Duro	Duro
En húmedo	Muy friable	Firme	Friable
Adherencia	Lig. Adherente	Lig. Adherente	Adherente
Plasticidad	Lig. Plástico	Lig. Plástico	Plástico
CUTANES			
Abundancia	Discontinuos	NO	Discontinuos
Espesor	Fino		Fino
Naturaleza	Arcillosa		Arcillosa
Ubicación			
CEMENTACION			
Existencia	NO	NO	NO
POROS			
Abundancia	Pocos	Pocos	Frecuentes
Tamaño	Fino-medio	Medio	Fino-medio
Continuidad	Discontinuos	Discontinuos	Discontinuos
Distribución	Inped-Exped	Inped-Exped	Inped-Exped

Cont. Tabla 5.8.

HORIZONTES	PRH001	PRH002	PRH003
Morfología	Vesicular	Tubular	Intersticial
RAICES			
Abundancia	Pocas	Pocas	Frecuentes
Tamaño	Fino-medio	Grueso-medio	Grueso
FRAGMENTOS ROCOSOS			
Abundancia	Pocas	Pocas	Pocas
Tamaño	Guijarros	Guijarros	Guijarros
Forma	Subangular	Angular	Subangular
Naturaleza	Caliza	Caliza	Caliza
NÓDULOS			
Abundancia	Pocas	Frecuentes	Pocas
Tamaño	Pequeño	Pequeño	Pequeño
Forma	Irregular	Irregular	Irregular
Consistencia	Dura	Blanda	Blanda
Naturaleza	Calcárea	Calcárea	Calcárea
Color	Blanco	Blanco	Blanco
CARBONATOS			
Test de campo	Medio	Medio	Fuerte
ACTIVIDAD BIOLÓGICA			
Frecuencia	Moderada	Moderada	Moderada
LIMITE ENTRE HORIZONTES			
Cambio	Abrupto	Nítido	Gradual
Topografía	Llana	Ondulada	Irregular
PROPIEDADES FÍSICAS			
HORIZONTES	PRH001	PRH002	PRH003
FRACCIONES			
Fracción fina	0.7039	0.7433	0.8265
Fracción gruesa (2-5 mm)	0.0594	0.0415	0.0146
Fracción muy gruesa (>5 mm)	0.2367	0.2153	0.1589
TEXTURA			
Clase textural	Franca	Franca	Franco arcillosa
Arcilla	0.2005	0.2006	0.3092
Arena	0.3952	0.3312	0.2906
Limo	0.4043	0.4682	0.4002

5. Datos de entrada

Cont. Tabla 5.8.

HORIZONTES	PRH001	PRH002	PRH003
<i>Fraccionamiento de arenas:</i>			
2-1 mm	0.0174	0.0158	0.0070
1-0.5 mm	0.0214	0.0137	0.0063
0.5-0.2 mm	0.0220	0.0178	0.0076
0.2-0.1 mm	0.0782	0.0789	0.0531
0.1-0.05 mm	0.0975	0.0719	0.0634
<i>Fraccionamiento de limos:</i>			
Finos	0.0167	0.0840	0.1343
Gruesos	0.3876	0.4598	0.2659
PROPIEDADES HIDRAULICAS			
Ksat (mm/día)	208.89	225.44	69.95
Theta saturación 0 kPa(v/v)	0.4823	0.4835	0.5464
Theta -33 kPa (v/v)	0.2622	0.2784	0.3658
Theta -100 kPa (v/v)	0.2187	0.2256	0.3154
Theta -500 kPa (v/v)	0.1600	0.1465	0.2512
Theta -1000 kPa (v/v)	0.1387	0.1256	0.2378
Theta -1500 Kpa (v/v)	0.1301	0.1127	0.2199
Agua disponible (v/v)	0.1321	0.1657	0.1459
Theta campo (v/v)	0.2358	0.2433	0.2828
OTRAS PROPIEDADES FISICAS			
COLE	0.3323	0.1819	0.2805
LIMITE PLASTICO (100.Kg/Kg)	14.97	15.00	18.45
DENSIDAD APARENTE (Kg/L)	1.51	1.52	1.28
PROPIEDADES QUÍMICAS Y FISICOQUÍMICAS			
HORIZONTES	PRH001	PRH002	PRH003
MATERIA ORGANICA (100.Kg/Kg)	0.42	0.32	0.71
CARBON ORGANICO (100.Kg/Kg)	0.25	0.19	0.42
CaCO ₃ (100.Kg/Kg)	14.6	13.4	8.4
YESO (100.Kg/Kg)	0.00	0.00	0.00

Cont. Tabla 5.8.

HORIZONTES	PRH001	PRH002	PRH003
EXTRACTO 1:5			
pH	7.422	7.719	7.504
CE (dS/m)	0.1505	0.1443	0.2792
Ca ⁺⁺ (mMol/L)	1.292	1.207	2.244
Mg ⁺⁺ (mMol/L)	0.210	0.122	0.321
Na ⁺ (mMol/L)	0.562	0.884	1.798
K ⁺ (mMol/L)	0.075	0.037	0.014
RAS	0.649	1.085	1.588
EXTRACTO DE PASTA SATURADA			
pH	8.108	8.444	8.143
CE (dS/m)	0.80	0.88	1.40
RAS	0.994	1.091	1.592
PSI	0.206	0.347	1.076
ANIONES (mMol-/L)			
HCO ₃ ⁻	6.021	5.021	7.021
CL ⁻	1.417	1.469	4.658
SO ₄ ²⁻	2.332	2.321	2.358
NO ₃ ⁻	0.000	0.000	1.001
SiO ₄ ⁻	0.000	0.000	0.002
H ₂ PO ₄ ⁻	0.000	0.000	1.021
CATIONES SOLUBLES (mMol+/L)			
Ca ⁺⁺	4.443	4.151	6.015
Mg ⁺⁺	2.536	2.214	5.819
Na ⁺	1.857	1.946	3.872
K ⁺	0.373	0.183	0.068
CATIONES DE INTERCAMBIO (mMol+/L)			
Ca ⁺⁺	98.850	106.425	127.966
Mg ⁺⁺	88.965	95.782	115.169
Na ⁺	0.409	0.738	2.749
K ⁺	10.722	9.500	9.577
CIC (mMol+/Kg)	198.947	212.445	255.460

5. Datos de entrada

Tabla 5.9.

PERFIL	FECHA	UTM E (m)	UTM N (m)	
PRII	25/01/99	260910	4453770	
HORIZONTE	REFERENCIA	PROFUNDIDAD (cm)		
Ap1	PRH005	0-15		
Ap2	PRH006	15-40		
B/Ck	PRH007	40-55		
B/Ck	PRH008	55-95		
C	PRH009	> 95		
DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES				
HORIZONTES	PRH005	PRH006	PRH007	PRH008
HIDROMORFISMO				
Rasgos de hidromorfismo	NO	NO	NO	NO
Manchas	NO	NO	NO	NO
Color en seco	7.5YR4/4	5YR3/4	7.5YR6/4	7.5YR6/5
ESTRUCTURA				
Grado	Moderado	Moderado	Débil	Moderado
Tamaño	Fino	Fino	Fino	Fino
Tipo	Bloque ang.	Bloque ang.	Bloque ang.	Bloque ang.
CONSISTENCIA				
En seco	Duro	Duro	Duro	Lig. Duro
En húmedo	Friable	Friable	Friable	Friable
Adherencia	L. adherente	Adherente	L. adherente	L. adherente
Plasticidad	Plástico	Plástico	L. plástico	L. plástico
CUTANES				
Abundancia	NO	NO	NO	NO
Espesor				
Naturaleza				
Ubicación				
CEMENTACION				
Existencia	NO	NO	NO	NO
POROS				
Abundancia	Frecuentes	Pocos	Pocos	Pocos
Tamaño	Fino-medio	Medio	Fino-medio	Medio

Cont. Tabla 5.9.

HORIZONTES	PRH005	PRH006	PRH007	PRH008
Continuidad	Discontinuos	Discont.	Discontinuos	Discontinuos
Distribución	Inped-Exped	In-Exped	Inped-Exped	Inped-Exped
Morfología	Intersticial	Intersticial	Intersticial	Tubular
RAICES				
Abundancia	Frecuente	Frecuente	Ninguna	Ninguna
Tamaño	Grueso	Medio		
FRAGMENTOS ROCOSOS				
Abundancia	Pocos	Pocos	Frecuentes	Muy pocos
Tamaño	Guijarros	Guijarros	Guijarros	Guijarros
Forma	Subangular	Subangular	Subangular	Subangular
Naturaleza	Caliza	Caliza	Caliza	Caliza
NÓDULOS				
Abundancia	Frecuentes	Frecuentes	NO	NO
Tamaño	Pequeño	Pequeño		
Forma	Irregular	Irregular		
Consistencia	Blanda	Blanda		
Naturaleza	Calcárea	Calcárea		
Color	Blanco	Blanco		
CARBONATOS				
Test de campo	Medio	Medio	Fuerte	Fuerte
ACTIVIDAD BIOLÓGICA				
Frecuencia	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
LIMITE ENTRE HORIZONTES				
Cambio	Gradual	Gradual	Gradual	Gradual
Topografía	Llana	Llana	Llana	Llana
PROPIEDADES FÍSICAS				
HORIZONTES	PRH005	PRH006	PRH007	PRH008
FRACCIONES				
Fracción fina	0.5768	0.5984	0.3386	0.5973
Fracción gruesa (2-5 mm)	0.0591	0.0571	0.0365	0.0873
Fracción muy gruesa (>5 mm)	0.3641	0.3445	0.6250	0.3155
TEXTURA				
Clase textural	Franca	Franca	Franca	Franca
Arcilla	0.2428	0.2093	0.2004	0.1669
Arena	0.3601	0.3530	0.4960	0.4889

5. Datos de entrada

Cont. Tabla 5.9.

HORIZONTES	PRH005	PRH006	PRH007	PRH008
Limo	0.3971	0.4377	0.3036	0.3443
<i>Fraccionamiento de arenas:</i>				
2-1 mm	0.0248	0.0277	0.0477	0.0232
1-0.5 mm	0.0292	0.0307	0.0549	0.0430
0.5-0.2 mm	0.0294	0.0282	0.0655	0.0757
0.2-0.1 mm	0.0529	0.0499	0.0672	0.0750
0.1-0.05 mm	0.0787	0.0743	0.0617	0.0760
<i>Fraccionamiento de limos:</i>				
Finos	0.0419	0.0084	0.0000	0.0167
Gruesos	0.3552	0.4293	0.3036	0.3276
PROPIEDADES HIDRAULICAS				
Ksat (mm/día)	143.05	200.61	188.24	279.08
Theta saturación 0 kPa(v/v)	0.5067	0.4937	0.4554	0.4510
Theta -33 kPa (v/v)	0.2874	0.2899	0.2588	0.2465
Theta -100 kPa (v/v)	0.2070	0.2300	0.2100	0.1968
Theta -500 kPa (v/v)	0.1600	0.1652	0.1489	0.1498
Theta -1000 kPa (v/v)	0.1523	0.1402	0.1290	0.1296
Theta -1500 Kpa (v/v)	0.1468	0.1313	0.1198	0.1221
Agua disponible (v/v)	0.1406	0.1586	0.1390	0.1244
Theta campo (v/v)	0.2522	0.2516	0.2186	0.2048
OTRAS PROPIEDADES FISICAS				
COLE	0.1141	0.1977	0.5716	0.0703
LIMITE PLASTICO (100.Kg/Kg)	16.29	14.62	12.89	13.26
DENSIDAD APARENTE (Kg/L)	1.62	1.46	1.49	1.48
PROPIEDADES QUÍMICAS Y FISICOQUÍMICAS				
HORIZONTES	PRH005	PRH006	PRH007	PRH008
MATERIA ORGANICA (100.Kg/Kg)	0.50	0.57	0.25	0.13
CARBON ORGANICO (100.Kg/Kg)	0.29	0.34	0.15	0.08
CaCO ₃ (100.Kg/Kg)	21.4	21.5	42.8	53.9
YESO (100.Kg/Kg)	0.00	0.00	0.00	0.00

Cont. Tabla 5.9.

HORIZONTES	PRH005	PRH006	PRH007	PRH008
EXTRACTO 1:5				
pH	7.843	8.159	8.225	8.256
CE (dS/m)	0.1941	0.1951	0.1827	0.1744
Ca ⁺⁺ (mMol/L)	0.680	0.000	0.884	0.866
Mg ⁺⁺ (mMol/L)	0.197	0.000	0.097	0.156
Na ⁺ (mMol/L)	2.762	2.074	2.554	1.089
K ⁺ (mMol/L)	0.068	0.000	0.025	0.057
RAS	4.172		3.647	1.524
EXTRACTO DE PASTA SATURADA				
pH	8.257	8.440	8.487	8.557
CE (dS/m)	1.18	1.04	1.01	
RAS	3.434	3.484	3.527	1.396
PSI	3.666	3.733	3.793	0.793
ANIONES (mMol-/L)				
HCO ₃ ⁻	6.258	4.253	3.001	4.698
CL ⁻	5.023	7.253	5.369	2.145
SO ₄ ²⁻	0.425	1.235	2.025	1.369
NO ₃ ⁻	0.621	0.000	0.000	0.000
SiO ₄ ⁻	0.018	0.025	0.000	0.000
H ₂ PO ₄ ⁻	0.000	0.097	0.000	0.000
CATIONES SOLUBLES (mMol+/L)				
Ca ⁺⁺	2.338	0.190	3.040	2.980
Mg ⁺⁺	3.574	6.370	1.765	2.820
Na ⁺	5.904	6.309	5.467	2.378
K ⁺	0.341	0.060	0.124	0.283
CATIONES DE INTERCAMBIO (mMol+/L)				
Ca ⁺⁺	102.571	105.377	91.778	90.739
Mg ⁺⁺	92.314	94.839	82.600	81.665
Na ⁺	7.855	8.084	7.192	1.453
K ⁺	11.521	8.224	8.068	9.294
CIC (mMol+/Kg)	214.262	216.524	189.639	183.150

5. Datos de entrada

Tabla 5.10.

PERFIL	FECHA	UTM E (m)	UTM N (m)
PRIII	26/01/99	260380	4452930
HORIZONTE	REFERENCIA	PROFUNDIDAD (cm)	
Ap1	PRH010	0-20	
Ap2	PRH011	20-40	
B/Ck	PRH012	40-90	
R	PRH013	> 90	
DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES			
HORIZONTES	PRH010	PRH011	PRH012
HIDROMORFISMO			
Rasgos de hidromorfismo	NO	NO	NO
Manchas	NO	NO	NO
Color en seco	5YR3/4	7.5YR4/4	5YR4/6
ESTRUCTURA			
Grado	Débil	Moderado	Débil
Tamaño	Fino	Fino	Fino
Tipo	Bloque angular	Bloque angular	Bloque angular
CONSISTENCIA			
En seco	Ligeramente duro	Ligera. Duro	Duro
En húmedo	Friable	Friable	Friable
Adherencia	Adherente	Lig. Adherente	L. adherente
Plasticidad	Plástico	Lig. Plástico	L. plástico
CUTANES			
Abundancia	NO	NO	NO
Espesor			
Naturaleza			
Ubicación			
CEMENTACION			
Existencia	NO	NO	NO
POROS			
Abundancia	Frecuentes	Frecuentes	Pocos
Tamaño	Fino-medio	Medio	Fino
Continuidad	Discontinuos	Discontinuos	Discontinuos
Distribución	Inped-Exped	Inped-Exped	Inped-Exped
Morfología	Vesicular	Vesicular	Vesicular

Cont Tabla 5.10.

HORIZONTES	PRH010	PRH011	PRH012
RAICES			
Abundancia	Frecuentes	Frecuentes	Ninguna
Tamaño	Fino-medio	Grueso-medio	
FRAGMENTOS ROCOSOS			
Abundancia	Frecuentes	Frecuentes	Pocos
Tamaño	Guijarros	Guijarros	Guijarros
Forma	Subangular	Angular	Subangular
Naturaleza	Caliza	Caliza	Caliza
NÓDULOS			
Abundancia	NO	Frecuentes	Pocos
Tamaño		Pequeño	Pequeño
Forma		Irregular	Irregular
Consistencia		Blanda	Blanda
Naturaleza		Calcárea	Calcárea
Color		Blanco	Blanco
CARBONATOS			
Test de campo	Ligera	Ligera	Fuerte
ACTIVIDAD BIOLÓGICA			
Frecuencia	Moderada	Moderada	Moderada
LIMITE ENTRE HORIZONTES			
Cambio	Gradual	Gradual	Gradual
Topografía	Ondulada	Ondulada	Llana
PROPIEDADES FÍSICAS			
HORIZONTES	PRH010	PRH011	PRH012
FRACCIONES			
Fracción fina	0.8199	0.5981	0.6760
Fracción gruesa (2-5 mm)	0.0398	0.1338	0.0000
Fracción muy gruesa (>5 mm)	0.1403	0.2682	0.3240
TEXTURA			
Clase textural	Franca	Franco arcillosa	Franco arcillosa
Arcilla	0.2427	0.2927	0.2671
Arena	0.3122	0.2792	0.3333
Limo	0.4451	0.4280	0.3996

5. Datos de entrada

Cont. Tabla 5.10.

HORIZONTES	PRH010	PRH011	PRH012
<i>Fraccionamiento de arenas:</i>			
2-1 mm	0.0109	0.0120	0.0075
1-0.5 mm	0.0150	0.0159	0.0186
0.5-0.2 mm	0.0152	0.0148	0.0290
0.2-0.1 mm	0.0498	0.0437	0.0634
0.1-0.05 mm	0.0956	0.0806	0.0812
<i>Fraccionamiento de limos:</i>			
Finos	0.0084	0.0753	0.0668
Gruesos	0.4368	0.3528	0.3328
PROPIEDADES HIDRAULICAS			
Ksat (mm/día)	153.63	105.98	119.56
Theta saturación 0 kPa(v/v)	0.4858	0.5067	0.5108
Theta -33 kPa (v/v)	0.2934	0.3463	0.3145
Theta -100 kPa (v/v)	0.2188	0.2798	0.2531
Theta -500 kPa (v/v)	0.1730	0.2000	0.1887
Theta -1000 kPa (v/v)	0.1601	0.1799	0.1688
Theta -1500 Kpa (v/v)	0.1400	0.1687	0.1604
Agua disponible (v/v)	0.1534	0.1776	0.1541
Theta campo (v/v)	0.2697	0.3028	0.2802
OTRAS PROPIEDADES FISICAS			
COLE	0.1797	0.0962	0.0879
LIMITE PLASTICO (100.Kg/Kg)	17.13	16.27	14.64
DENSIDAD APARENTE (Kg/L)	1.45	1.32	1.32
PROPIEDADES QUÍMICAS Y FISICOQUÍMICAS			
HORIZONTES	PRH010	PRH011	PRH012
MATERIA ORGANICA (100.Kg/Kg)	0.44	0.41	0.17
CARBON ORGANICO (100.Kg/Kg)	0.26	0.24	0.10
CaCO ₃ (100.Kg/Kg)	9.9	12.3	29.4
YESO (100.Kg/Kg)	0.00	0.00	0.00

Cont tabla 5.10.

HORIZONTES	PRH010	PRH011	PRH012
EXTRACTO 1:5			
pH	7.990	8.291	8.151
CE (dS/m)	0.1775	0.1920	0.1557
Ca ⁺⁺ (mMol/L)		0.668	1.306
Mg ⁺⁺ (mMol/L)		0.131	0.302
Na ⁺ (mMol/L)		1.000	13.320
K ⁺ (mMol/L)		0.111	0.034
RAS		1.583	14.854
EXTRACTO DE PASTA SATURADA			
pH	8.214	8.557	8.434
CE (dS/m)	0.89	0.77	2.75
RAS	1.829	1.433	13.289
PSI	1.418	0.847	15.498
ANIONES (mMol-/L)			
HCO ₃ ⁻	1.325	1.693	9.658
CL ⁻	2.215	2.012	26.021
SO ₄ ²⁻	2.215	2.694	1.396
NO ₃ ⁻	0.000	0.000	0.000
SiO ₄ ⁻	0.000	0.000	0.000
H ₂ PO ₄ ⁻	1.321	1.021	0.000
CATIONES SOLUBLES (mMol+/L)			
Ca ⁺⁺	0.441	2.298	3.501
Mg ⁺⁺	3.330	2.374	5.481
Na ⁺	2.512	2.191	28.161
K ⁺	0.000	0.554	0.168
CATIONES DE INTERCAMBIO (mMol+/L)			
Ca ⁺⁺	108.180	107.585	88.456
Mg ⁺⁺	97.362	96.826	79.610
Na ⁺	3.064	1.877	32.454
K ⁺	7.510	15.279	8.884
CIC (mMol+/Kg)	216.116	221.567	209.404

5. Datos de entrada

Tabla 5.11.

PERFIL	FECHA	UTM E (m)	UTM N (m)
PRIV	26/01/99	262800	4454920
HORIZONTE	REFERENCIA	PROFUNDIDAD (cm)	
Ap	PRH014	0-32	
C/Ck	PRH015	32-70	
R	PRH016	> 70	
DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES			
HORIZONTES	PRH014		PRH015
HIDROMORFISMO			
Rasgos de hidromorfismo	NO		NO
Manchas	NO		NO
Color en seco	7.5YR4/4		5YR4/6
ESTRUCTURA			
Grado	Moderado		Moderado
Tamaño	Fino		Fino
Tipo	Bloque angular		Bloque angular
CONSISTENCIA			
En seco	Duro		Ligeramente duro
En húmedo	Friable		Friable
Adherencia	Adherente		Ligeramente adherente
Plasticidad	Plástico		Ligeramente plástico
CUTANES			
Abundancia	NO		NO
Espesor			
Naturaleza			
Ubicación			
CEMENTACION			
Existencia	NO		NO
POROS			
Abundancia	Frecuente		Frecuente
Tamaño	Fino-medio		Fino
Continuidad	Discontinuos		Discontinuos
Distribución	Inped-Exped		Inped-Exped
Morfología	Intercial		Vesicular

Cont. Tabla 5.11.

HORIZONTES	PRH014	PRH015
RAICES		
Abundancia	Pocos	Frecuente
Tamaño	Grueso-fino	Medio
FRAGMENTOS ROCOSOS		
Abundancia	Frecuente	Pocos
Tamaño	Guijarros	Guijarros
Forma	Subangular	Subangular
Naturaleza	Caliza	Caliza
NÓDULOS		
Abundancia	Frecuente	Pocos
Tamaño	Pequeño	Pequeño
Forma	Irregular	Irregular
Consistencia	Blanda	Blanda
Naturaleza	Calcárea	Calcárea
Color	Blanco	Blanco
CARBONATOS		
Test de campo	Ligera	Media
ACTIVIDAD BIOLÓGICA		
Frecuencia	Moderada	Moderada
LIMITE ENTRE HORIZONTES		
Cambio	Gradual	Gradual
Topografía	Ondulada	Ondulada
PROPIEDADES FÍSICAS		
HORIZONTES	PRH014	PRH015
FRACCIONES		
Fracción fina	0.2588	0.2619
Fracción gruesa (2-5 mm)	0.1506	0.5184
Fracción muy gruesa (>5 mm)	0.5906	0.2197
TEXTURA		
Clase textural	Franco arcillosa	Franco arcillosa
Arcilla	0.2681	0.2837
Arena	0.4491	0.3793
Limo	0.2828	0.3370

5. Datos de entrada

Cont. Tabla 5.11.

HORIZONTES	PRH014	PRH015
<i>Fraccionamiento de arenas:</i>		
2-1 mm	0.0040	0.0052
1-0.5 mm	0.0114	0.0152
0.5-0.2 mm	0.0318	0.0290
0.2-0.1 mm	0.1351	0.1034
0.1-0.05 mm	0.0857	0.0747
<i>Fraccionamiento de limos:</i>		
Finos	0.0251	0.0918
Gruesos	0.2577	0.2452
PROPIEDADES HIDRAULICAS		
Ksat (mm/día)	100.08	96.65
Theta saturación 0 kPa(v/v)	0.5129	0.4800
Theta -33 kPa (v/v)	0.2912	0.3101
Theta -100 kPa (v/v)	0.2377	0.2356
Theta -500 kPa (v/v)	0.1899	0.1899
Theta -1000 kPa (v/v)	0.1766	0.1722
Theta -1500 Kpa (v/v)	0.1687	0.1600
Agua disponible (v/v)	0.1225	0.1501
Theta campo (v/v)	0.2540	0.2737
OTRAS PROPIEDADES FISICAS		
COLE	0.1107	0.1196
LIMITE PLASTICO (100.Kg/Kg)	15.44	13.09
DENSIDAD APARENTE (Kg/L)	1.56	1.41
PROPIEDADES QUÍMICAS Y FISICOQUÍMICAS		
HORIZONTES	PRH014	PRH015
MATERIA ORGANICA (100.Kg/Kg)	0.57	0.15
CARBON ORGANICO (100.Kg/Kg)	0.34	0.09
CaCO ₃ (100.Kg/Kg)	7.5	15.9
YESO (100.Kg/Kg)	0.00	0.00

Cont. Tabla 5.11.

HORIZONTES	PRH014	PRH015
EXTRACTO 1:5		
pH	7.920	8.272
CE (dS/m)	0.1640	0.1931
Ca ⁺⁺ (mMol/L)	0.696	0.472
Mg ⁺⁺ (mMol/L)	0.193	0.131
Na ⁺ (mMol/L)	1.682	3.691
K ⁺ (mMol/L)	0.086	0.034
RAS	2.524	6.720
EXTRACTO DE PASTA SATURADA		
pH	8.362	8.348
CE (dS/m)	0.80	1.01
RAS	2.114	5.558
PSI	1.825	6.488
ANIONES (mMol-/L)		
HCO ₃ ⁻	5.120	4.950
CL ⁻	3.125	7.125
SO ₄ ²⁻	1.962	0.000
NO ₃ ⁻	0.000	0.000
SiO ₄ ⁻	0.000	0.000
H ₂ PO ₄ ⁻	0.000	0.000
CATIONES SOLUBLES (mMol+/L)		
Ca ⁺⁺	2.394	1.625
Mg ⁺⁺	3.496	2.378
Na ⁺	3.629	7.863
K ⁺	0.432	0.172
CATIONES DE INTERCAMBIO (mMol+/L)		
Ca ⁺⁺	95.669	96.477
Mg ⁺⁺	86.102	86.829
Na ⁺	3.594	13.384
K ⁺	11.579	9.598
CIC (mMol+/Kg)	196.944	206.289

5. Datos de entrada

Tabla 5.12.

PERFIL	FECHA	UTM E (m)	UTM N (m)
PRV	1/2/99	265760	4457770
HORIZONTE	REFERENCIA	PROFUNDIDAD (cm)	
Ap	PRH017	0-40	
B	PRH018	40-42	
R	PRH019	> 42	
DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES			
HORIZONTES	PRH017		PRH018
HIDROMORFISMO			
Rasgos de hidromorfismo	NO		SI
Manchas	NO		NO
Color en seco	5YR4/4		10YR7/2
ESTRUCTURA			
Grado	Moderado		Moderado
Tamaño	Fino		Fino
Tipo	Bloque angular		Bloque angular
CONSISTENCIA			
En seco	Duro		Duro
En húmedo	Firme		Firme
Adherencia	Muy Adherente		Muy Adherente
Plasticidad	Muy Plástico		Muy Plástico
CUTANES			
Abundancia	Discontinuos		NO
Espesor	Fino		
Naturaleza	Arcillosa		
Ubicación			
CEMENTACION			
Existencia	NO		NO
POROS			
Abundancia	Frecuente		Frecuente
Tamaño	Fino-medio		Fino-medio
Continuidad	Discontinuos		Discontinuos
Distribución	Inped-Exped		Inped-Exped
Morfología	Intersticial		Intersticial

Cont. Tabla 5.12.

HORIZONTES	PRH017	PRH018
RAICES		
Abundancia	Pocos	Pocos
Tamaño	Grueso-fino	Medio
FRAGMENTOS ROCOSOS		
Abundancia	Frecuente	Frecuente
Tamaño	Guijarros	Guijarros
Forma	Subangular	Subangular
Naturaleza	Caliza	Caliza
NÓDULOS		
Abundancia	NO	Frecuente
Tamaño		Pequeño
Forma		Irregular
Consistencia		Blanda
Naturaleza		Calcárea
Color		Blanco
CARBONATOS		
Test de campo	Ninguna	Fuerte
ACTIVIDAD BIOLÓGICA		
Frecuencia	Moderada	Poca
LIMITE ENTRE HORIZONTES		
Cambio	Nítido	Gradual
Topografía	Llana	Irregular
PROPIEDADES FÍSICAS		
HORIZONTES	PRH017	
FRACCIONES		
Fracción fina	0.7927	
Fracción gruesa (2-5 mm)	0.0743	
Fracción muy gruesa (>5 mm)	0.1330	
TEXTURA		
Clase textural	Franco arcillosa	
Arcilla	0.3181	
Arena	0.3594	
Limo	0.3225	



5. Datos de entrada

Cont. Tabla 5.12.

HORIZONTES	PRH017	
<i>Fraccionamiento de arenas:</i>		
2-1 mm	0.0030	
1-0.5 mm	0.0061	
0.5-0.2 mm	0.0155	
0.2-0.1 mm	0.1002	
0.1-0.05 mm	0.0900	
<i>Fraccionamiento de limos:</i>		
Finos	0.0586	
Gruesos	0.2639	
PROPIEDADES HIDRAULICAS		
Ksat (mm/día)	76.23	
Theta saturación 0 kPa(v/v)	0.5200	
Theta -33 kPa (v/v)	0.3246	
Theta -100 kPa (v/v)	0.2656	
Theta -500 kPa (v/v)	0.2199	
Theta -1000 kPa (v/v)	0.2024	
Theta -1500 Kpa (v/v)	0.1920	
Agua disponible (v/v)	0.1326	
Theta campo (v/v)	0.3480	
OTRAS PROPIEDADES FISICAS		
COLE	0.2258	
LIMITE PLASTICO (100.Kg/Kg)	14.20	
DENSIDAD APARENTE (Kg/L)	1.60	
PROPIEDADES QUÍMICAS Y FISICOQUÍMICAS		
HORIZONTES	PRH017	PRH018
MATERIA ORGANICA (100.Kg/Kg)	0.46	
CARBON ORGANICO (100.Kg/Kg)	0.27	
CaCO ₃ (100.Kg/Kg)	4.5	
YESO (100.Kg/Kg)	0.00	

Cont. Tabla 5.12.

HORIZONTES	PRH017	
EXTRACTO 1:5		
pH	7.793	
CE (dS/m)	0.8449	
Ca ⁺⁺ (mMol/L)	1.139	
Mg ⁺⁺ (mMol/L)	0.276	
Na ⁺ (mMol/L)	13.305	
K ⁺ (mMol/L)	0.030	
RAS	15.819	
EXTRACTO DE PASTA SATURADA		
pH	8.129	
CE (dS/m)	7.55	
RAS	14.021	
PSI	16.263	
ANIONES (mMol-/L)		
HCO ₃ ⁻	5.236	
CL ⁻	28.021	
SO ₄ ²⁻	2.473	
NO ₃ ⁻	0.000	
SiO ₄ ⁻	0.000	
H ₂ PO ₄ ⁻	0.000	
CATIONES SOLUBLES (mMol+/L)		
Ca ⁺⁺	3.054	
Mg ⁺⁺	4.995	
Na ⁺	28.129	
K ⁺	0.148	
CATIONES DE INTERCAMBIO (mMol+/L)		
Ca ⁺⁺	90.539	
Mg ⁺⁺	81.485	
Na ⁺	35.171	
K ⁺	9.069	
CIC (mMol+/Kg)	216.264	

5. Datos de entrada

Tabla 5.13.

PERFIL	FECHA	UTM E (m)	UTM N (m)
PRVI	1/2/99	263640	4456880
HORIZONTE	REFERENCIA	PROFUNDIDAD (cm)	
Ap	PRH020	0-30	
Bk	PRH021	30-60	
R	PRH022	> 60	
DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES			
HORIZONTES	PRH020		PRH021
HIDROMORFISMO			
Rasgos de hidromorfismo	NO		NO
Manchas	NO		NO
Color en seco	2.5YR3/6		5YR4/6
ESTRUCTURA			
Grado	Moderado		Débil
Tamaño	Fino		Fino
Tipo	Bloque angular		Bloque angular
CONSISTENCIA			
En seco	Ligeramente duro		Ligeramente duro
En húmedo	Friable		Friable
Adherencia	Adherente		Adherente
Plasticidad	Plástico		Plástico
CUTANES			
Abundancia	Discontinuos		NO
Espesor	Fino		
Naturaleza	Arcillosa		
Ubicación			
CEMENTACION			
Existencia	NO		NO
POROS			
Abundancia	Poco		Frecuente
Tamaño	Medio		Fino
Continuidad	Discontinuos		Discontinuos
Distribución	Inped-Exped		Inped-Exped
Morfología	Vesicular		Intersticial

Cont. Tabla 5.13.

HORIZONTES	PRH020	PRH021
RAICES		
Abundancia	Pocos	Frecuente
Tamaño	Grueso-fino	Medio-fino
FRAGMENTOS ROCOSOS		
Abundancia	Pocos	Pocos
Tamaño	Guijarros	Guijarros
Forma	Angular	Subangular
Naturaleza	Caliza	Caliza
NÓDULOS		
Abundancia	Pocos	NO
Tamaño	Pequeño	
Forma	Irregular	
Consistencia	Blanda	
Naturaleza	Calcárea	
Color	Blanco	
CARBONATOS		
Test de campo	Ninguna	Ligera
ACTIVIDAD BIOLÓGICA		
Frecuencia	Moderada	Poca
LIMITE ENTRE HORIZONTES		
Cambio	Gradual	Gradual
Topografía	Ondulada	Ondulada
PROPIEDADES FÍSICAS		
HORIZONTES	PRH020	PRH021
FRACCIONES		
Fracción fina	0.5227	0.2533
Fracción gruesa (2-5 mm)	0.4773	0.4272
Fracción muy gruesa (>5 mm)	0.0000	0.3195
TEXTURA		
Clase textural	Franco arcillosa	Franco arcillosa
Arcilla	0.3346	0.3677
Arena	0.3477	0.2934
Limo	0.3177	0.3389

5. Datos de entrada

Cont. Tabla 5.13.

HORIZONTES	PRH020	PRH021
<i>Fraccionamiento de arenas:</i>		
2-1 mm	0.0011	0.0041
1-0.5 mm	0.0048	0.0070
0.5-0.2 mm	0.0122	0.0123
0.2-0.1 mm	0.0925	0.0725
0.1-0.05 mm	0.0972	0.0796
<i>Fraccionamiento de limos:</i>		
Finos	0.0502	0.0836
Gruesos	0.2675	0.2553
PROPIEDADES HIDRAULICAS		
Ksat (mm/día)	69.22	62.25
Theta saturación 0 kPa(v/v)	0.5269	0.5259
Theta -33 kPa (v/v)	0.3256	0.3500
Theta -100 kPa (v/v)	0.2703	0.2937
Theta -500 kPa (v/v)	0.2200	0.2411
Theta -1000 kPa (v/v)	0.1877	0.2280
Theta -1500 Kpa (v/v)	0.1800	0.2211
Agua disponible (v/v)	0.1456	0.1289
Theta campo (v/v)	0.3162	0.3038
OTRAS PROPIEDADES FISICAS		
COLE	0.2364	0.2473
LIMITE PLASTICO (100.Kg/Kg)	15.51	15.81
DENSIDAD APARENTE (Kg/L)	1.21	1.61
PROPIEDADES QUÍMICAS Y FISICOQUÍMICAS		
HORIZONTES	PRH020	PRH021
MATERIA ORGANICA (100.Kg/Kg)	0.41	0.28
CARBON ORGANICO (100.Kg/Kg)	0.24	0.16
CaCO ₃ (100.Kg/Kg)	3.0	10.7
YESO (100.Kg/Kg)	0.00	0.02

Cont. Tabla 5.13.

HORIZONTES	PRH020	PRH021
EXTRACTO 1:5		
pH	7.656	7.600
CE (dS/m)	0.2481	0.9165
Ca ⁺⁺ (mMol/L)	1.628	11.247
Mg ⁺⁺ (mMol/L)	0.137	0.920
Na ⁺ (mMol/L)	1.524	2.232
K ⁺ (mMol/L)	0.045	0.021
RAS	1.623	0.905
EXTRACTO DE PASTA SATURADA		
pH	8.019	7.866
CE (dS/m)	1.58	4.26
RAS	1.640	0.910
PSI	1.145	0.082
ANIONES (mMol-/L)		
HCO ₃ ⁻	4.512	9.215
CL ⁻	3.012	4.012
SO ₄ ²⁻	4.021	15.021
NO ₃ ⁻	0.000	7.021
SiO ₄ ⁻	0.000	0.000
H ₂ PO ₄ ⁻	1.021	3.025
CATIONES SOLUBLES (mMol+/L)		
Ca ⁺⁺	5.598	18.681
Mg ⁺⁺	2.479	6.679
Na ⁺	3.295	4.788
K ⁺	0.977	0.103
CATIONES DE INTERCAMBIO (mMol+/L)		
Ca ⁺⁺	102.832	114.159
Mg ⁺⁺	92.549	102.743
Na ⁺	2.463	0.185
K ⁺	17.233	8.262
CIC (mMol+/Kg)	215.078	225.350

5. Datos de entrada

Tabla 5.14.

PERFIL	FECHA	UTM E (m)	UTM N (m)
PRVII	1/2/99	263790	4454200
HORIZONTE	REFERENCIA	PROFUNDIDAD (cm)	
Ap/B	PRH023	0-30	
R	PRH024	> 30	
DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES			
HORIZONTES		PRH023	
HIDROMORFISMO			
Rasgos de hidromorfismo	NO		
Manchas	NO		
Color en seco	2.5YR4/6		
ESTRUCTURA			
Grado	Moderado		
Tamaño	Fino		
Tipo	Bloque angular		
CONSISTENCIA			
En seco	Ligeramente duro		
En húmedo	Friable		
Adherencia	Adherente		
Plasticidad	Muy Plástico		
CUTANES			
Abundancia	Discontinuos		
Espesor	Fino		
Naturaleza	Arcillosa		
Ubicación			
CEMENTACION			
Existencia	NO		
POROS			
Abundancia	Poco		
Tamaño	Fino-medio		
Continuidad	Discontinuos		
Distribución	Inped-Exped		
Morfología	Intersticial		

Cont. Tabla 5.14.

HORIZONTES	PRH023
RAICES	
Abundancia	Pocos
Tamaño	Fino
FRAGMENTOS ROCOSOS	
Abundancia	Pocos
Tamaño	Guijarros
Forma	Subangular
Naturaleza	Conglomerados calizos
NÓDULOS	
Abundancia	NO
Tamaño	
Forma	
Consistencia	
Naturaleza	
Color	
CARBONATOS	
Test de campo	Ninguna
ACTIVIDAD BIOLÓGICA	
Frecuencia	Moderada
LIMITE ENTRE HORIZONTES	
Cambio	Gradual
Topografía	Irregular
PROPIEDADES FÍSICAS	
HORIZONTES	PRH023
FRACCIONES	
Fracción fina	0.6590
Fracción gruesa (2-5 mm)	0.2289
Fracción muy gruesa (>5 mm)	0.1120
TEXTURA	
Clase textural	Franco arcillo arenosa
Arcilla	0.2846
Arena	0.4711
Limo	0.2442

5. Datos de entrada

Cont. Tabla 5.14.

HORIZONTES	PRH023
<i>Fraccionamiento de arenas:</i>	
2-1 mm	0.0021
1-0.5 mm	0.0056
0.5-0.2 mm	0.0259
0.2-0.1 mm	0.1489
0.1-0.05 mm	0.0988
<i>Fraccionamiento de limos:</i>	
Fino	0.0502
Gruesos	0.1940
PROPIEDADES HIDRAULICAS	
Ksat (mm/día)	83.82
Theta saturación 0 kPa(v/v)	0.5088
Theta -33 kPa (v/v)	0.3078
Theta -100 kPa (v/v)	0.2500
Theta -500 kPa (v/v)	0.2010
Theta -1000 kPa (v/v)	0.1734
Theta -1500 Kpa (v/v)	0.1589
Agua disponible (v/v)	0.1489
Theta campo (v/v)	0.2617
OTRAS PROPIEDADES FISICAS	
COLE	0.1343
LIMITE PLASTICO (100.Kg/Kg)	13.51
DENSIDAD APARENTE (Kg/L)	1.46
PROPIEDADES QUÍMICAS Y FISICOQUÍMICAS	
HORIZONTES	PRH023
MATERIA ORGANICA (100.Kg/Kg)	0.46
CARBON ORGANICO (100.Kg/Kg)	0.27
CaCO ₃ (100.Kg/Kg)	0.8
YESO (100.Kg/Kg)	0.00

Cont. Tabla 5.14.

HORIZONTES	PRH023
EXTRACTO 1:5	
pH	7.972
CE (dS/m)	0.1152
Ca ⁺⁺ (mMol/L)	0.677
Mg ⁺⁺ (mMol/L)	0.149
Na ⁺ (mMol/L)	2.172
K ⁺ (mMol/L)	0.165
RAS	3.381
EXTRACTO DE PASTA SATURADA	
pH	8.227
CE (dS/m)	0.67
RAS	3.065
PSI	3.158
ANIONES (mMol-/L)	
HCO ₃ ⁻	4.232
CL ⁻	4.052
SO ₄ ²⁻	2.021
NO ₃ ⁻	0.000
SiO ₄ ⁻	0.000
H ₂ PO ₄ ⁻	0.000
CATIONES SOLUBLES (mMol+/L)	
Ca ⁺⁺	1.815
Mg ⁺⁺	2.694
Na ⁺	4.602
K ⁺	0.827
CATIONES DE INTERCAMBIO (mMol+/L)	
Ca ⁺⁺	83.219
Mg ⁺⁺	74.897
Na ⁺	5.657
K ⁺	15.372
CIC (mMol+/Kg)	179.145

Las propiedades más importantes a tener en cuenta para la ejecución del modelo LEACHM son: la textura, la permeabilidad, la condición del límite inferior (drenaje libre o presencia de una capa freática), la densidad aparente, el carbón orgánico y la distribución de las raíces.

Comentarios sobre la descripción y análisis de los perfiles

Respecto a los perfiles estudiados hay que tener en cuenta algunas consideraciones previas. En primer lugar se trata de suelos antropizados con muchas propiedades alteradas. En segundo lugar, algunas parcelas presentan gran cantidad de fragmentos rocosos en superficie (ver figura 5.8) y por último, hay que tener en cuenta que el riego se realiza distribuyendo al agua a partir de canales de riego laterales (ver figura 5.6). Todo ello contribuye a una desigual infiltración en la parcela.

Las características más relevantes de los perfiles estudiados son:

- Todos los perfiles se clasifican dentro del orden de los Inceptisoles en el suborden Xerepts ya que presentan un régimen de humedad xérico. Todos presentan un horizonte cálcico a 100 cm de la superficie o bien un horizonte petrocálcico a 150 cm y todos los horizontes presentan abundantes carbonatos. La mayoría de perfiles se clasifican como Typic calcixerept aunque el perfil PRV presenta un horizonte petrocálcico y el perfil PRVII tiene un contacto lítico a 50 cm de la superficie y por tanto se clasifican como Petrocalcic calcixerept y Lithic calcixerept respectivamente (Soil Taxonomy, 1998).
- La estructura es moderada o débil de tamaño fino y en bloques angulares. Son suelos con una consistencia dura y poco plásticos excepto el perfil PRVII que contiene una mayor proporción de arcilla que el resto. No hay cementación y los poros son frecuentes de tamaño medio y finos. Hay abundancia de nódulos de naturaleza calcárea de tamaño fino. En cuanto a la actividad biológica es moderada y se observa la presencia de raíces de todos los tamaños en todos los horizontes.
- El límite entre horizontes es en general gradual. Esto es importante a tener en cuenta cuando se confecciona el fichero de entrada en el LEACHM.
- La condición del límite inferior es de drenaje libre para todos los perfiles excepto para el perfil PRV que presenta un horizonte petrocálcico y la presencia de una capa freática a 40 cm de profundidad. En este perfil se observan rasgos de hidromorfismo en la zona comprendida entre 40-42 cm (PRH018). La proximidad de la capa freática influye decisivamente en el incremento de la salinidad del perfil ya que provoca la ascensión de sales por capilaridad siendo necesario en estos casos la instalación de un sistema de drenaje (Nikolskii-Gavrilov et al., 2001). El perfil PRV no dispone de un sistema de drenaje instalado.
- Se observa un elevado contenido de fragmentos gruesos en todos los perfiles (0.16-0.74) por lo que presentan una elevada macroporosidad. Esta macroporosidad no se encuentra adecuadamente representada en el modelo ya que la textura se calcula a partir de la fracción fina sin tener en cuenta el total del suelo.

En las figuras 5.11-5.12 se observa como el contenido de arcilla cambia dependiendo de si el cálculo se realiza a partir de la fracción fina o a partir del total del suelo. Dos horizontes con diferentes contenidos de arcilla obtenidos a partir de

la fracción fina (azul) pueden tener el mismo contenido si la arcilla se calcula a partir del total del suelo (ciruela). El caso más destacable se encuentra en los horizontes PRH008 y PRH021 que presentan unos contenidos de arcilla calculados a partir de la fracción fina (azul) de 0.17 y 0.35 respectivamente, mientras que si el cálculo se realiza a partir del total del suelo (ciruela) el contenido pasa a ser de 0.10 para ambos horizontes.

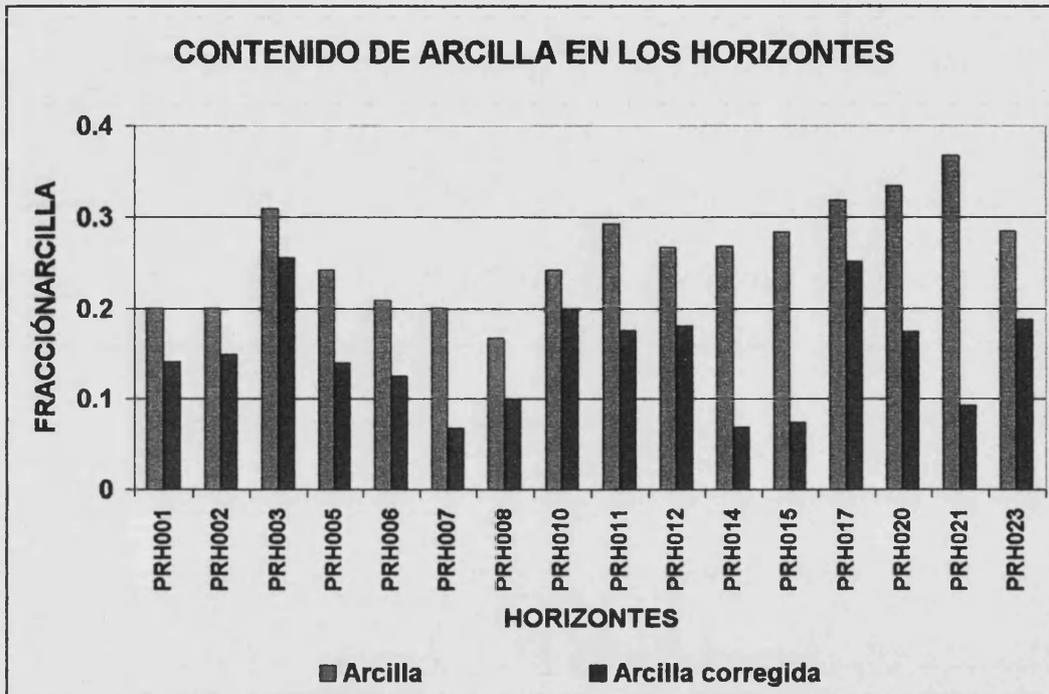


Figura 5.11. Comparación entre el contenido de arcilla en los horizontes calculado a partir de la fracción fina (arcilla) y a partir del total del suelo (arcilla corregida).

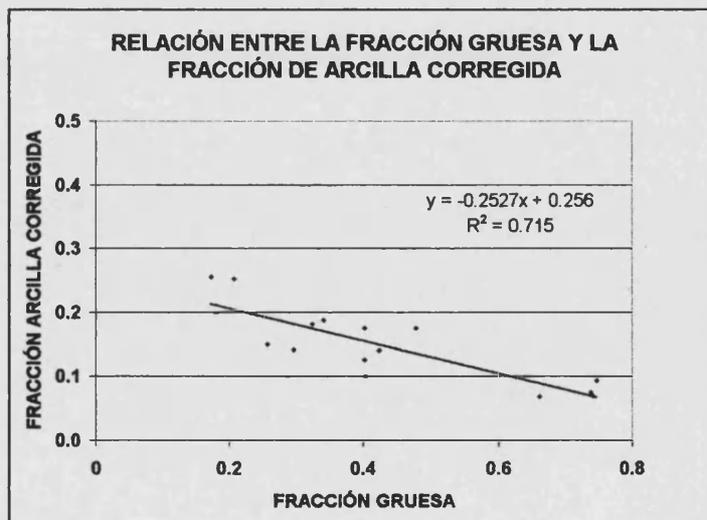


Figura 5.12. Relación entre la fracción gruesa y la fracción de arcilla corregida



5. Datos de entrada

Los puntos representados en la figura 4.12 muestran la relación entre el contenido “efectivo” de arcilla (arcilla corregida) y la fracción gruesa. Los puntos (0.40,0.10) y (0.75,0.09) representan a los horizontes PRH008 y PRH021.

Este aspecto es muy importante a tener en cuenta ya que los valores de arcilla que se introducen en el modelo se obtienen a partir de la fracción fina y por tanto se encuentran sobredimensionados.

- Las texturas se encuentran entre franca a franco arcillosa (ver figura 5.13). La mayoría de los perfiles presentan una homogeneidad en la textura de los horizontes, excepto en el caso del perfil (PRII) que presenta una variación en la textura (verde) siendo los horizontes inferiores más limosos que los superiores. Esta heterogeneidad influye en el movimiento del agua en el suelo. En general se observa que el contenido en arcilla se incrementa hacia los horizontes inferiores en los que la permeabilidad disminuye dificultando el drenaje y por tanto provocando la acumulación de sales en los horizontes inferiores del perfil.

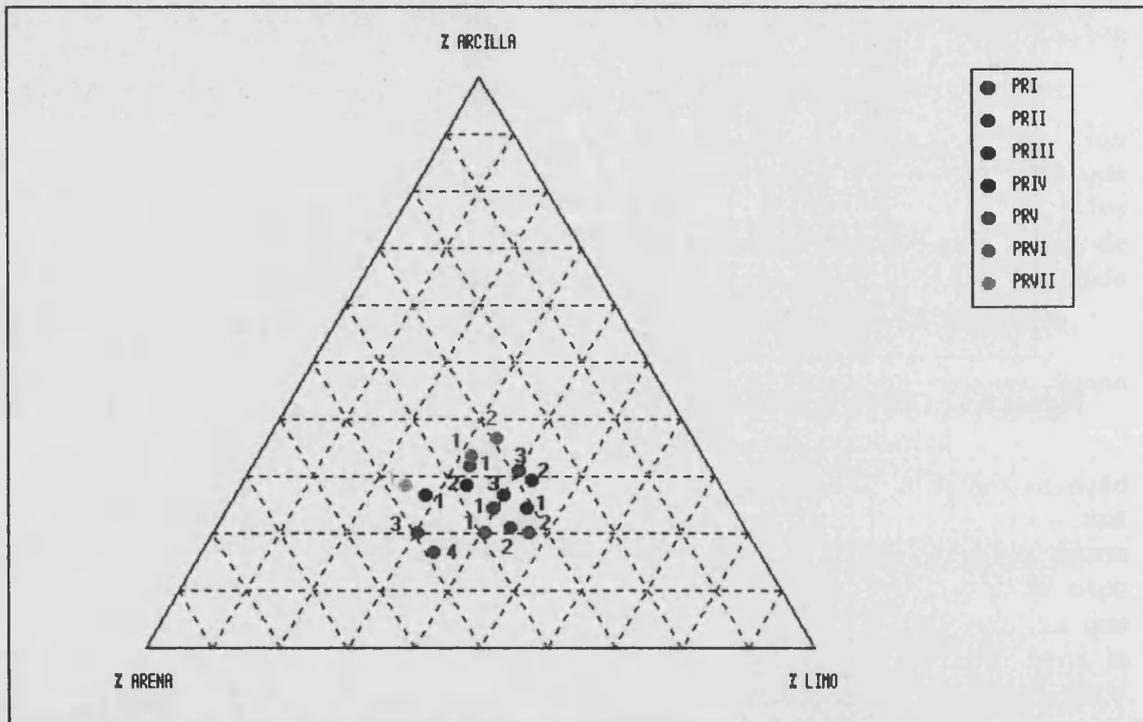


Figura 5.13. Texturas de los perfiles de Torreblanca

- En general la conductividad hidráulica es superior a 200 mm d^{-1} en todos los perfiles aunque algunos presentan horizontes con conductividades hidráulicas muy bajas ($<80 \text{ mm d}^{-1}$) sobre todo en los horizontes inferiores.
- En cuanto a las propiedades químicas y fisicoquímicas todos los perfiles presentan un contenido en materia orgánica bajo con abundancia de carbonatos en todos los

horizontes. En el análisis del extracto de saturación se observa una predominancia del calcio sobre el resto de cationes y un pH alrededor de 8, por tanto se trata de suelos saturados de bases con baja presencia de fósforo y muy baja de hierro soluble (Cobertera, 1993). La CE se encuentra por debajo de 2 dS/m en la mayoría de los horizontes excepto en el horizonte PRH021 (PRVI) que presenta una CE superior a 4 dS/m. Por tanto se trata de suelos no salinos aunque el perfil PRVI muestra un horizonte inferior con una salinidad media que afecta a los cultivos no tolerantes (Cobertera, 1993). Por último la RAS es inferior a 5 en todos los perfiles excepto en el perfil PRV que tiene valores >14. El perfil PRI presenta una acumulación de sales en el horizonte inferior (PRH012) con una CE>2 dS/m y una RAS>13.

5.1.3. Datos monitorizados

Las fechas de monitorización y los datos obtenidos de los perfiles están detallados en las tablas siguientes (tablas 5.15-5.21).

Tabla 5.15. Datos monitorizados

MONITORIZACIÓN DE DATOS REQUERIDOS POR EL MODELO LEACHM PARA LA CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN							
MES	Caract. hidráulicas	Caract. físicas	Caract. químicas	Capa freática	Agua riego	CO ₂	Datos climáticos
Enero-99	+	+	+	+			+
Febrero-99					+		+
Marzo-99	+		+	+	+	+	+
Abril-99					+		+
Mayo-99					+		+
Junio-99					+		+
Julio-99	+		+	+		+	+
Agosto-99	++		++	++		++	+
Septiembre-99							+
Octubre-99	+		+	+		+	+
Noviembre-99							+
Diciembre-99	+		+	+		+	+
Enero-00							+
Febrero-00	+		+	+		+	+

Tabla 5.16. Datos de humedad obtenidos con TDR (v/v)

TDR θ_v							
PERFIL	PROF (mm)	17/03/99	13/07/99	15/08/99	28/08/99	17/10/99	04/02/00
PRI	0-200	0.285	0.190	0.199	0.194	0.277	0.240
	200-400	0.279	0.166	0.173	0.158	0.270	0.244
	400-600	0.299	0.229	0.220	0.228	0.303	0.305

5. Datos de entrada

Cont. Tabla 5.16.

PERFIL	PROF (mm)	17/03/99	13/07/99	15/08/99	28/08/99	17/10/99	04/02/00
PRII	0-200	0.330	0.223	0.239	0.224	0.343	0.312
	200-400	0.311	0.251	0.227	0.234	0.360	0.351
	400-600	0.256	0.235	0.229	0.235	0.316	0.323
	600-800	0.215	0.219	0.201	0.211	0.282	0.305
PRIII	0-200	0.336	0.255	0.275	0.274	0.362	0.368
	200-400	0.385	0.287	0.290	0.292	0.394	0.374
	400-600	0.356	0.312	0.303	0.303	0.371	0.376
	600-800	0.287	0.323	0.288	0.316	0.376	0.358
PRIV	0-200	0.329	0.250	0.243	0.238	0.310	0.304
	200-400	0.353	0.271	0.248	0.247	0.339	0.340
	400-600	0.359	0.282	0.267	0.279	0.345	0.347
PRV	0-200	0.368	0.339	0.320	0.305	0.307	0.287
	200-400	0.38	0.358	0.340	0.315	0.307	0.303
PRVI	0-200	0.372	0.271	0.272	0.265	0.352	0.347
	200-400	0.336	0.267	0.263	0.254	0.344	0.334
	400-600	0.330	0.282	0.247	0.243	0.336	0.325
PRVII	0-200	0.347	0.255	0.294	0.285	0.359	0.315
	200-400	0.346	0.291	0.281	0.317	0.349	0.347

Tabla 5.17. Datos de Potencial matricial (-kPa)

Potencial Matricial -kPa							
PERFIL	PROF (mm)	17/03/99	13/07/99	15/08/99	28/08/99	17/10/99	04/02/00
PRI	100	-4.0	-16.0	-17.0	-60.0	-16.0	-27.0
	400	0.0	-14.0	-15.0	-71.0	-12.0	-16.0
	600	0.0	-10.0	-11.0	-55.0	-7.0	-14.0
	T*	16.0	26.3	25.7	27.4	19.7	9.0
PRII	150	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-2.0
	350	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
	650	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
	T*	18.1	26.3	29.0	28.6	21.5	12.6
PRIII	100	-0.0	-31.0	-20.0	-48.0	-20.0	-31.0
	300	-0.0	-17.0	-58.0	-71.0	-12.0	-16.0
	600	-0.0	-14.0	-30.0	-36.0	-12.0	-18.0
	T*	17.1	26.3	31.8	31.2	22.1	12.9
PRIV	150	-0.0	-199.0	-11.0	-21.0	-12.0	-17.0
	500	-0.0	-41.0	-2.0	-9.0	-0.0	-7.0
	T*	18.1	25.6	29.7	33.1	22.1	10.3
PRV	200	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0
	T*	13.2	25.6	25.8	27.2	18.7	6.4

Cont. Tabla 5.17.

PERFIL	PROF (mm)	17/03/99	13/07/99	15/08/99	28/08/99	17/10/99	04/02/00
PRVI	150	-3.0	-20.0	-73.0	-43.0	-18.0	-28.0
	450	-0.0	-12.0	-43.0	-21.0	-12.0	-16.0
	T ^a	15.1	25.6	25.8	26.9	19.7	6.4
PRVII	150	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-3.0
	T ^a	18.6	25.6	28.8	31.0	23.3	9.7

Tabla 5.18. Observaciones de la Capa Freática PRV.

CAPA FREÁTICA (mm)						
PERFIL	17/03/99	13/07/99	15/08/99	28/08/99	17/10/99	04/02/00
PRV	335	340	380	>500	>500	>500

Tabla 5.19. CEe (extracto de saturación)

CEe (dS/m)							
PERFIL	PROF (mm)	17/03/99	13/07/99	15/08/99	28/08/99	17/10/99	04/02/00
PRI	0-150	0.60	0.62	0.56	0.53	0.47	0.50
	150-300	1.00	0.73	0.76	0.95	0.61	0.60
	300-450	1.27	0.86	1.00	0.90	0.88	0.82
PRII	0-150	0.94	1.06	1.06	1.00	0.50	0.79
	150-300	1.77	1.83	3.00	2.38	1.56	1.56
	300-450	2.03	1.95	4.41	2.98	2.07	1.22
PRIII	0-150	0.8	1.28	1.23	1.22	0.81	1.02
	150-300	1.38	1.46	2.47	2.35	1.24	1.18
	300-450	2.41	2.54	3.32	3.62	2.62	1.54
PRIV	0-150	1.56	1.11	1.80	1.55	0.50	0.90
	150-300	1.38	2.03	3.50	3.45	1.36	1.23
	300-450	1.63	1.27	2.15	2.31	2.69	1.23
PRV	0-150	2.03	3.29	2.49	2.48	1.10	1.82
	150-300	5.46	4.20	4.23	4.58	1.98	2.01
	300-450	5.91	3.33	3.11	3.37	2.32	2.59
PRVI	0-150	1.40	1.40	1.38	1.41	0.78	0.85
	150-300	2.39	1.47	2.39	1.90	1.04	0.78
	300-450	4.15	3.1	3.16	4.27	1.96	1.54
PRVII	0-150	0.9	1.05	1.13	0.73	0.53	0.53
	150-300	2.08	0.92	1.53	0.6	0.48	0.41

5. Datos de entrada

Tabla 5.20. RASe (extracto de Saturación)

RASe							
PERFIL	PROF (mm)	17/03/99	13/07/99	15/08/99	28/08/99	17/10/99	04/02/00
PRI	0-150	0.290	0.790	1.386	0.949	0.938	1.177
	150-300	0.749	1.263	1.360	1.930	1.677	1.384
	300-450	1.642	1.482	1.795	1752	2.394	2.078
PRII	0-150	6.146	6.766	8.814	5.818	9.081	5.342
	150-300	8.651	8.987	12.836	10.414	15.279	10.050
	300-450	10.518	10.451	13.194	10.965	15.468	10.874
PRIII	0-150	5.865	5.456	10.287	11.394	4.262	4.862
	150-300	5.223	7.026	8.166	13.459	6.893	6.500
	300-450	9.073	7.834	7.329	7.928	6.798	5.394
PRIV	0-150	3.584	3.716	3.456	4.874	2.897	2.541
	150-300	4.488	3.968	3.784	4.564	4.225	3.214
	300-450	7.365	6.877	6.784	6.254	5.874	4.658
PRV	0-150	18.332	12.050	18.254	26.404	25.599	12.127
	150-300	17.451	11.644	15.901	17.220	22.080	20.138
	300-450	9.938	12.164	9.024	17.675	18.137	16.014
PRVI	0-150	1.094	1.476	3.781	3.010	3.177	2.154
	150-300	2.322	1.779	4.373	5.083	3.621	3.644
	300-450	1.133	1.256	3.598	3.327	2.977	3.225
PRVII	0-150	2.050	4.737	1.123	1.334	1.614	1.278
	150-300	2.126	6.872	6.138	3.480	2.081	1.104

Tabla 5.21. CO₂ (gases del suelo)

CO ₂ (Kg·Kg)							
PERFIL	PROF (mm)	17/03/99	13/07/99	15/08/99	28/08/99	17/10/99	04/02/00
PRI	100	0.025	0.011	0.017	0.056	0.025	0.009
	400	0.105	0.022	0.017	0.013	0.012	0.011
	600	0.017	0.013	0.021	0.010	0.009	0.008
PRII	150	0.011	0.010	0.011	0.018	0.008	0.004
	350	0.012	0.011	0.007	0.011	0.007	0.004
	650	0.026	0.025	0.012	0.009	0.006	0.003
PRIII	100	0.029	0.010	0.008	0.014	0.010	0.008
	300	0.015	0.001	0.008	0.015	0.014	0.013
	600	--	0.018	0.009	0.012	0.012	0.013
PRIV	150	0.025	--	0.007	0.006	0.005	0.004
	500	0.012	--	0.013	0.016	0.010	0.009
PRV	250	0.024	0.016	0.012	0.028	0.017	0.010
PRVI	150	0.017	0.021	0.004	0.005	0.006	0.012
	450	0.029	0.009	0.005	0.014	0.012	0.013
PRVII	150	0.025	--	0.010	0.012	0.010	0.013

5.2. Clima: precipitaciones, temperatura y ETo

5.2.1. Datos climáticos

Los datos climáticos se han obtenido de una estación meteorológica instalada en el campo "Cova del Plá" (PRV). En las figuras 5.14-5.17 se presenta la evolución diaria de la radiación solar, la temperatura, la humedad y la velocidad del viento. Estos datos se han utilizado para calcular la ETo según el método de Penman Montheit.

DATOS CLIMÁTICOS AÑO 1999 (ESTACIÓN METEOROLÓGICA PRV)

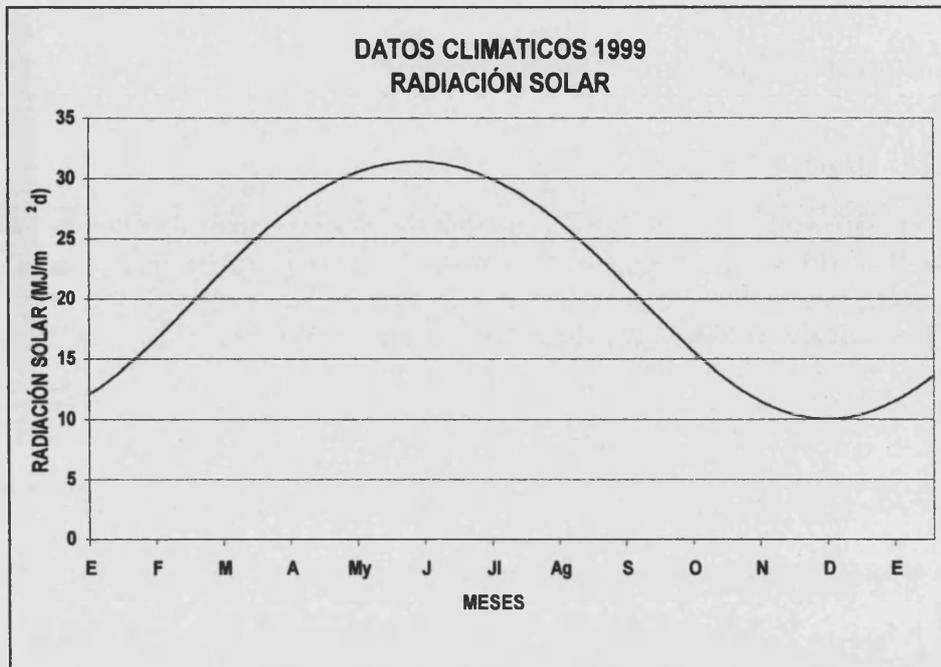


Figura 5.14. Radiación solar diaria

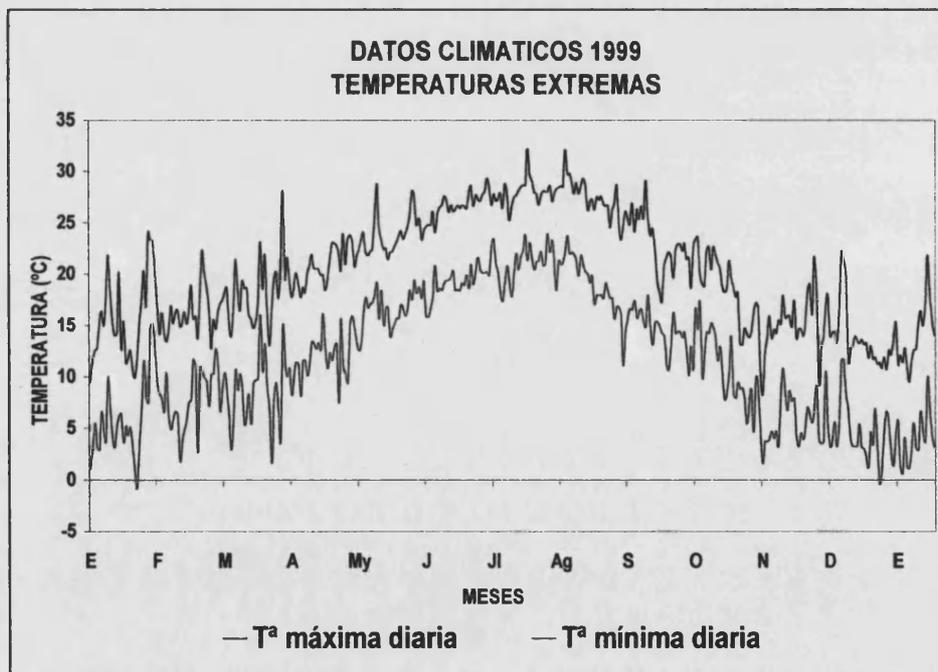


Figura 5.15. Temperatura máxima y mínima diaria del aire

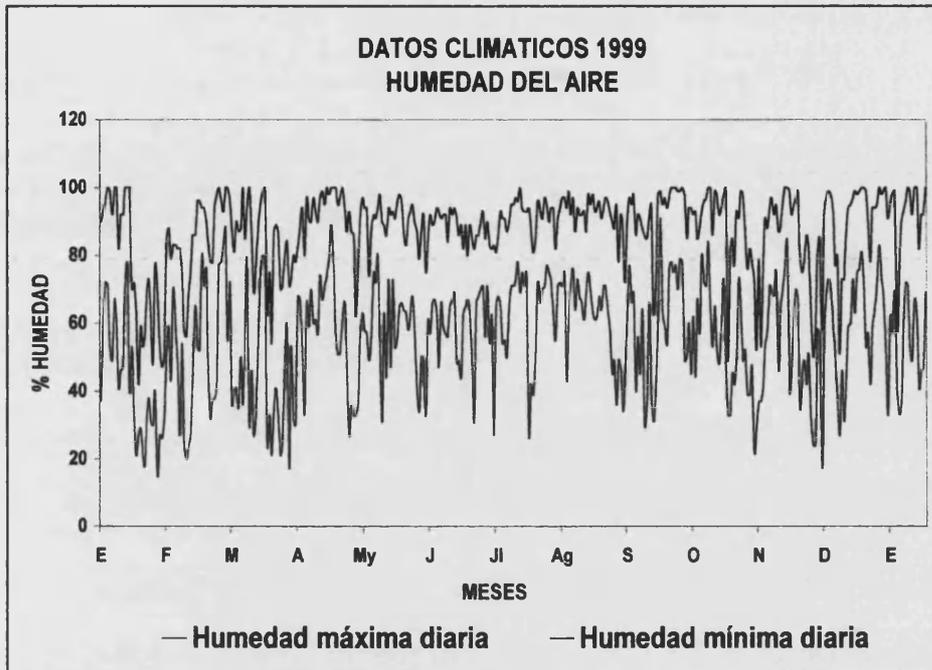


Figura 5.16. Humedad máxima y mínima diaria del aire

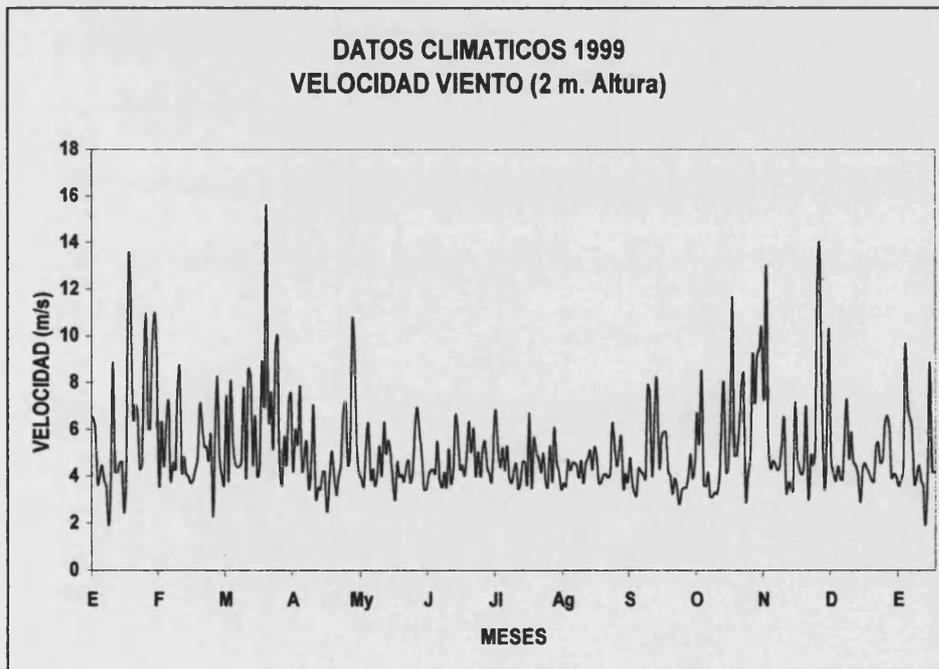


Figura 5.17. Velocidad diaria del viento a una altura de 2 m.

5.2.2. ETo

Las figuras 5.18 y 5.19 representan la evolución de la evapotranspiración potencial mensual y semanal calculadas según el método de Penmann-Montheith comparado con la ETo calculada por el método de Hargreaves Samani. Se observa que los cálculos de ETo basados en la ecuación de Hargreaves Samani están por debajo de los calculados mediante el método de Penmann-Montheith. Esto es debido a que la ecuación de Hargreaves Samani no tiene en cuenta la velocidad del viento que incrementa el valor de la ETo.

Para confeccionar el fichero de entrada del LEACHM se han tomado los datos de ETo semanales calculados con la ecuación de Penman-Monteith.

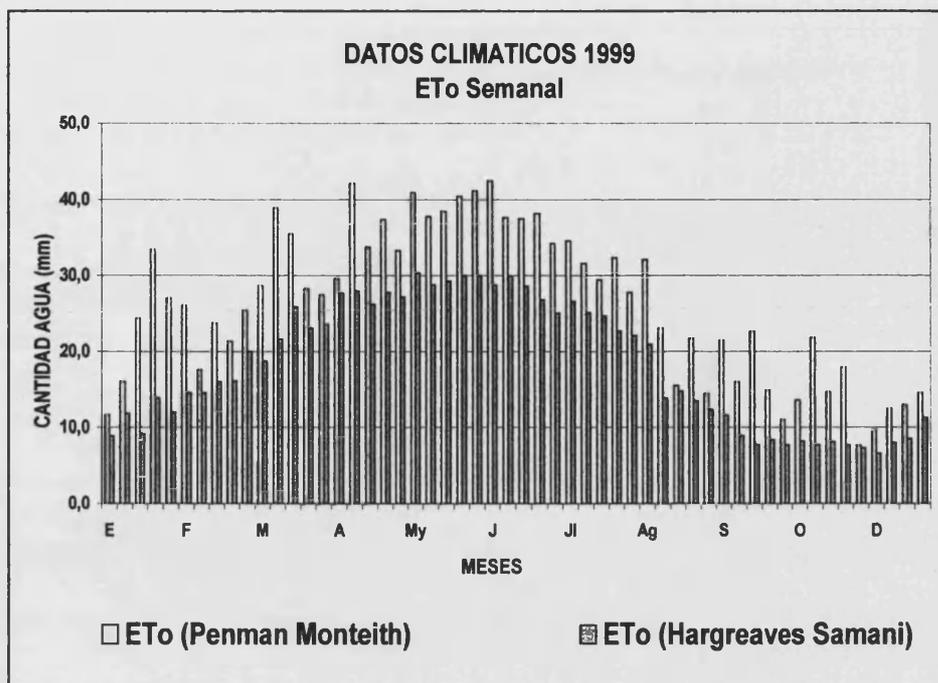


Figura 5.18. ETo semanal calculada por los métodos de Penmann-Monteith y Hargreaves Samani.

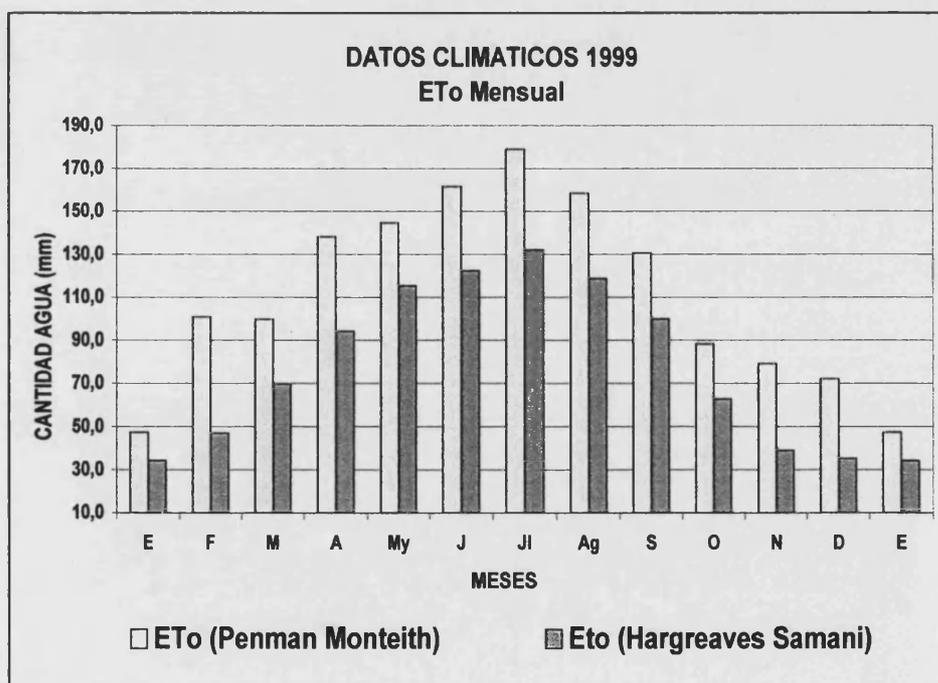


Figura 5.19. ETo mensual calculada por los métodos de Penmann-Monteith y Hargreaves Samani.

5.2.3. Precipitaciones y riego

Las figuras 5.20 y 5.21 representan las entradas y salidas de agua mensual y semanal. Las precipitaciones (azul oscuro) y los riegos (azul claro) se acumulan para representar las entradas mensuales y semanales de agua durante el año 1999. En cuanto a las salidas de agua se toma la ETo (naranja).

Los datos de lluvia se han obtenido de la estación meteorológica instalada en el campo Cova del Plá (PRV) y los riegos (cantidad y frecuencia) han sido proporcionados por el capataz de los campos.

En la figura 5.21 se observa claramente la inadecuada gestión llevada a cabo en Torreblanca. Durante el periodo comprendido entre los meses de abril y agosto se produce un estrés hídrico ya que los riegos no son suficientes para satisfacer la ETo. La recarga de los acuíferos se produce solamente durante los meses de octubre y abril mientras que durante el periodo estival no se produce drenaje en los suelos lo que ocasiona una acumulación de sales en los suelos. Estas sales son lavadas en el siguiente periodo de recarga contribuyendo a la salinización de los acuíferos.

Por otra parte, el periodo comprendido entre abril y agosto es el periodo de máxima actividad para los cultivos que se ven seriamente afectados por el estrés hídrico y por el estrés osmótico debido a las sales y al bajo contenido de humedad del suelo.

PRECIPITACIONES Y RIEGO: BALANCE DE AGUA EN EL SUELO

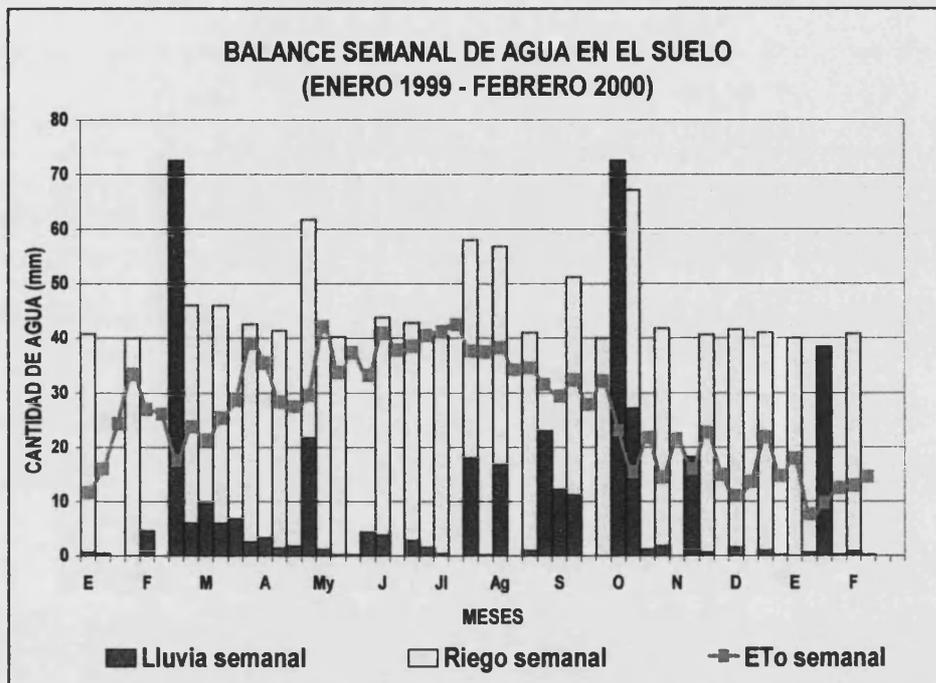


Figura 5.20. Balance semanal de agua en el suelo para el periodo comprendido entre enero de 1999 hasta febrero de 2000

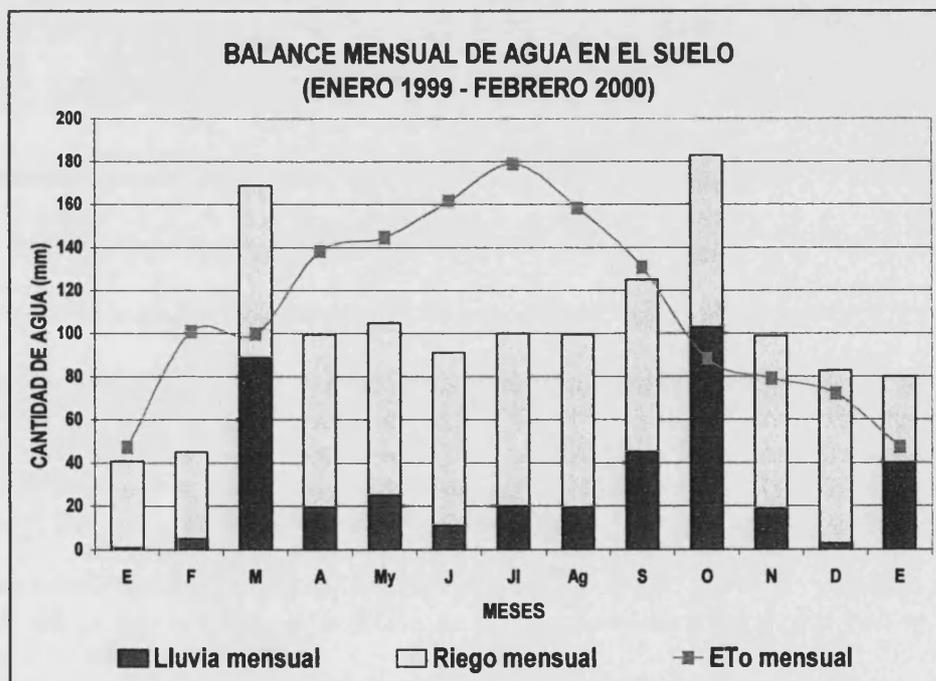


Figura 5.21. Balance mensual de agua en el suelo para el periodo comprendido entre enero de 1999 hasta febrero de 2000

5. Datos de entrada

5.3. Aguas

En la tabla siguiente se detallan las diferentes calidades del agua de los pozos de Torreblanca y su composición obtenida en el análisis químico (tabla 5.22).

Tabla 5.22. Composición química de las aguas de Torreblanca.

CALIDAD DE AGUA	CE _e dS/m	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Alcalinidad
		mMol/L						
1	0.69	4.54	1.44	0.90	0.00	2.16	0.40	4.32
2	1.26	6.10	2.29	3.80	0.00	7.01	0.90	4.28
3	2.09	7.49	3.40	8.13	0.09	12.91	1.70	4.50
4	2.92	14.44	3.74	11.13	0.06	23.94	1.53	3.90
5	3.80	13.22	6.91	19.70	0.29	29.79	3.31	7.02
6	4.99	13.14	8.89	32.18	0.17	46.24	4.14	4.00
7	6.52	9.66	9.65	50.61	0.59	57.64	8.27	4.60
8	8.53	12.09	11.85	69.65	0.55	79.73	9.12	5.29

Para la validación del modelo se ha tomado la calidad del agua correspondiente al pozo que riega el campo en donde se localiza el perfil. De esta forma el perfil PRI y perfil PRVII se han ejecutado con la calidad de agua W1 y el resto de perfiles con el agua W2.

No se ha tenido en cuenta la variación temporal de la composición del agua de riego.

Estas aguas tienen una predominancia en calcio sobre el resto de cationes, esto es importante porque disminuye la RAS y el PSI. La composición y concentración del agua de riego es un factor importante debido a su impacto sobre las propiedades físicas y fisicoquímicas del suelo y ha sido objeto de numerosos estudios (Canovas, 1980; Levy et al., 1993; Sharma et al., 1994; Curtin et al., 1995; Moreno et al., 2001).

El incremento del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) se considera un factor de riesgo para suelos con concentraciones bajas de electrolitos en la solución del suelo. Algunos autores evalúan el riesgo de dispersión de arcillas y la inestabilidad de los agregados observando el valor de PSI. Los suelos calizos presentan menos dispersión que los suelos no calizos, particularmente a elevadas concentraciones de RAS debido a la abundancia de calcio en el complejo de cambio ya que actúa promoviendo la agregación y reforzando la

estabilidad del suelo mientras que el sodio promueve la dispersión y el hinchamiento coloidal que debilitan la estructura (Summer & Stewart, 1992).

Las aguas cargadas de calcio promueven la precipitación de los bicarbonatos presentes en la disolución formando calcita y así se evita la formación de bicarbonato sódico que provocaría una dispersión de las arcillas ya que el bicarbonato sódico se mantiene en disolución. El cálculo del carbonato sódico residual (CSR) permite evaluar la acción degradante del agua de riego mediante la siguiente ecuación:

$$\text{CSR} = (|\text{CO}_3^{2-}| + |\text{CO}_3\text{H}^-|) - (|\text{Ca}^{2+}| + |\text{Mg}^{2+}|)$$

Según CSR, las aguas son (Canovas, 1980):

- Recomendables: tienen un CSR cuyo valor es inferior a 1.25 meq/l.
- Poco recomendables: tienen un CSR cuyo valor está comprendido entre 1.25 y 2.5 meq/l.
- No recomendables: tienen un CSR cuyo valor es superior a 2.5 meq/l

Las aguas de riego de Torreblanca tienen un CSR < 0 por tanto no se formará carbonato sódico residual. No obstante en algunos campos se ha observado la formación de láminas superficiales muy finas formando una pequeña costra pelicular aunque se trata de situaciones puntuales que podrían provocar una ligera disminución de la permeabilidad. La presencia de calcita, yeso y materiales amorfos de la sílice y aluminio, en el suelo, juegan un papel importante en el desarrollo de la costra superficial (Martínez-Gamiño & Walthall, 2001). Esta situación se puede solucionar relacionando la gestión agrícola con propiedades hidráulicas como la infiltración (Mwendera & Feyen, 1993). Un ejemplo de gestión adecuada sería el arado superficial que permite la ruptura de la costra mejorando la infiltración.

Por otra parte el suelo presenta una mayor afinidad por el calcio frente al magnesio debido pese a que el magnesio tiene un radio menor que el calcio tiene tendencia a hidratarse incrementando su radio, por tanto en los sistemas Na-Ca el valor de PSI es menor que en los sistema Na-Mg (Astarai & Chauhan, 1991).

En cuanto a los aniones presentes en las aguas hay que destacar que el cloro es extremadamente móvil comparado con los sulfatos y los bicarbonatos quedando inerte en la solución del suelo (Bresler et al., 1982; Ma & Selim, 1995). Por otra parte la inmovilización de los bicarbonatos se produce por la precipitación de la calcita y las variaciones de la pCO₂ (Arndt & Richardson, 1989) mientras que el movimiento de los sulfatos se ve retrasado por la precipitación de yeso (Skarie, et al, 1987). Los bicarbonatos y los sulfatos forman pares iónicos de carga neutra con cationes quedando inmovilizados mientras que los cloruros no (Adams, 1973).

6. Resultados y discusión

6.1. Calibración y validación del LEACHM

6.1.1. Calibración

Con el objetivo de calibrar el modelo LEACHM para los suelos de Torreblanca se han tenido en cuenta todos los parámetros del modelo con los rangos de valores posibles. Posteriormente se han ejecutado los archivos ajustando cada uno de los parámetros a las condiciones más adecuadas. En la tabla 6.1. se describen los parámetros susceptibles de ser calibrados y las propiedades sobre las que actúa, así como el grado de sensibilidad de la propiedad a las variaciones sobre el parámetro.

Tabla 6.1. Parámetros calibrados en el modelo.

Parámetros del modelo	Propiedad sensible ¹	Grado de sensibilidad	Observaciones
Intervalos de tiempo	Hidráulica	Alto	Opción de Richards Determina el número de cálculos diarios
Número de nodos	Hidráulica Química	Alto Alto	El n° óptimo de nodos oscila entre 10 y 20
Condición del límite inferior	Hidráulica Química	Muy alto Muy alto	Opción de Richards
Ecuación de flujo del agua	Hidráulica Química	Muy alto Muy alto	Richards: mayor humedad Addiscott: menor humedad
Modelo de retención	Hidráulica	Muy alto	En orden decreciente de retención de humedad ² : 3, 2, 1, 5, 4
Interacción con los poros (p)	Hidráulica	Bajo	Al disminuir p aumenta la K
Pendiente	Hidráulica	Muy alto	Condiciona la infiltración
Número de curva	Hidráulica	Alto	A mayor NC menor humedad
Mínimo potencial hidráulico de la raíz	Hidráulica	Medio-Alto	A mayor potencial absoluto menor humedad
Factor de incremento de la transpiración por compensación de la evaporación	Hidráulica	Medio	Incrementa la transpiración debida a la pérdida por evaporación
Resistencia radicular	Hidráulica	Medio	A mayor resistencia menor humedad

6. Resultados y discusión

Cont. Tabla 6.1

Parámetros del modelo	Propiedad sensible ¹	Grado de sensibilidad	Observaciones
Cobertura	Hidráulica	Alto	A mayor cobertura mayor transpiración y disminuye la evaporación
Profundidad relativa de las raíces	Hidráulica	Alto	Crecimiento de raíces. Permite contraer y expandir la profundidad de las raíces calculada en la ecuación de Tillotson et al. (1980)
Factor de cultivo	Hidráulica	Alto	Se utiliza para calcular la ETo del cultivo
Dispersividad	Química	Alto	Opción de Richards Al aumentar la Dispers. Disminuye la concentración
Intervalo de equilibrio químico	Química	Medio	Determina el número de cálculos para el equilibrio químico

¹ Identifica que propiedad está directamente influida por el parámetro.

² Modelos de retención: (1) Thomasson & Carter (1989) Topsoil, (2) Thomasson & Carter (1989) Subsoil, (3) Hutson (1986) arcilla+densidad aparente, (4) Hutson (1986) arcilla y (5) Rawls & Brakensiek (1985).

El procedimiento para la calibración y validación del modelo se ha llevado a cabo teniendo en cuenta que:

- La fecha de inicio de la simulación corresponde a la fecha de apertura de los perfiles y a la instalación de los dispositivos de monitorización y las fechas del fichero de salida coinciden con las fechas correspondientes a las fechas de monitorización
- Los límites del perfil se han fijado de acuerdo a las observaciones de campo teniendo en cuenta las condiciones de drenaje (libre o presencia de capa freática)
- El número de segmentos es 20.
- El modelo de flujo seleccionado es Richards
- La optimización de los valores de dispersividad para cada textura se ha ajustado al intervalo $(1/2n-2n)$.
- La pendiente y el número de curva que reflejan las condiciones observadas en el campo.
- Los datos de cultivo (distribución y crecimiento de raíces y cobertura) se han fijado de acuerdo con las observaciones de campo.

- Los coeficientes de Gapon se han calculado en el modelo considerando que los cationes solubles y de intercambio, en el momento de la apertura de los perfiles, se encuentran en equilibrio. No se ha considerado la fertilización.
- Los datos de riegos han sido proporcionados por los agricultores y la calidad del agua se mantiene constante.
- Los datos climáticos (precipitaciones y ETo) se han obtenido de la estación meteorológica instalada en el campo PRV.

6.1.1.1. Curvas de humedad y selección del modelo de retención

La selección del modelo de retención se ha llevado a cabo ejecutando el programa RETFIT con los datos de cada horizonte. Las curvas de retención obtenidas se han comparado con los valores obtenidos en el análisis del laboratorio seleccionándose el modelo que mejor ajusta a los datos experimentales.

A continuación se detallan los resultados obtenidos al aplicar las ecuaciones de edafotransferencia de Saxton et al. (1986) y los modelos de retención incluidos en el programa RETFIT (tablas 6.2-6.18).

Tabla 6.2. Curvas de retención calculadas con las ecuaciones de Saxton et al (1986).

HORIZONTE	PERFIL	THETA SAT.	THETA C. C.	THETA P.M.P.
		0 kPa	-33 kPa	-1500 kPa
PRH001	PRI	0.4695	0.2633	0.1252
PRH002	PRI	0.4742	0.2742	0.1240
PRH003	PRI	0.5153	0.3579	0.2053
PRH005	PRII	0.4826	0.2822	0.1420
PRH006	PRII	0.4749	0.2729	0.1278
PRH007	PRII	0.4622	0.2467	0.1272
PRH008	PRII	0.4525	0.2390	0.1141
PRH010	PRIII	0.4861	0.2901	0.1409
PRH011	PRIII	0.4989	0.3146	0.1639
PRH012	PRIII	0.4899	0.2953	0.1524
PRH014	PRIV	0.4817	0.2761	0.1553
PRH015	PRIV	0.4899	0.2937	0.1612
PRH017	PRV	0.4977	0.3109	0.1779
PRH020	PRVI	0.5013	0.3201	0.1863
PRH021	PRVI	0.5105	0.3453	0.2041
PRH023	PRVII	0.4834	0.2785	0.1634

6. Resultados y discusión

Tabla 6.3. Resultados RETFIT horizonte PRH001 (PERFIL I)

PRH001_1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
 Clay:20.0 Silt:40.4 Organic Carbon:0.25 Bulk Density :1.5100
 Campbells A=-0.876E+00 kPa B= 8.530 R-Square :0.9516

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4268	0.4268	0.00000	0.209E+03	0.209E+03	0.209E+03	0.209E+03
-5.0	0.3288	0.3480	-0.01914	0.426E+01	0.348E+01	0.283E+01	0.231E+01
-10.0	0.3358	0.3208	0.01497	0.906E+00	0.681E+00	0.512E+00	0.385E+00
-40.0	0.2831	0.2727	0.01043	0.409E-01	0.261E-01	0.167E-01	0.107E-01
-200.0	0.2340	0.2258	0.00817	0.112E-02	0.594E-03	0.314E-03	0.166E-03
-1500.0	0.1626	0.1783	-0.01574	0.124E-04	0.520E-05	0.217E-05	0.907E-06

PRH001_2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
 Clay:20.0 Silt:40.4 Organic Carbon:0.25 Bulk Density :1.5100
 Campbells A=-0.165E+00 kPa B= 10.523 R-Square :0.9853

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4267	0.4267	0.00000	0.209E+03	0.209E+03	0.209E+03	0.209E+03
-5.0	0.3066	0.3086	-0.00202	0.120E+00	0.868E-01	0.628E-01	0.454E-01
-10.0	0.2884	0.2890	-0.00053	0.263E-01	0.178E-01	0.121E-01	0.817E-02
-40.0	0.2533	0.2533	-0.00003	0.126E-02	0.749E-03	0.445E-03	0.264E-03
-200.0	0.2275	0.2174	0.01012	0.372E-04	0.189E-04	0.965E-05	0.492E-05
-1500.0	0.1717	0.1795	-0.00779	0.451E-06	0.190E-06	0.798E-07	0.336E-07

PRH001_3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
 Clay:20.0 Silt:40.4 Organic Carbon:0.25 Bulk Density :1.5100
 Campbells A=-0.919E+00 kPa B= 12.000 R-Square :0.9805

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4268	0.4268	0.00000	0.209E+03	0.209E+03	0.209E+03	0.209E+03
-3.0	0.3765	0.3867	-0.01024	0.161E+02	0.146E+02	0.132E+02	0.120E+02
-10.0	0.3561	0.3498	0.00625	0.119E+01	0.973E+00	0.797E+00	0.654E+00
-30.0	0.3290	0.3192	0.00983	0.110E+00	0.821E-01	0.614E-01	0.459E-01
-100.0	0.2827	0.2887	-0.00602	0.809E-02	0.547E-02	0.370E-02	0.250E-02
-1500.0	0.2319	0.2304	0.00154	0.229E-04	0.124E-04	0.667E-05	0.360E-05

PRH001_4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
 Clay:20.0 Silt:40.4 Organic Carbon:0.25 Bulk Density :1.5100
 Campbells A=-0.177E+00 kPa B= 5.963 R-Square :0.9585

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4266	0.4266	0.00000	0.209E+03	0.209E+03	0.209E+03	0.209E+03
-10.0	0.2245	0.2169	0.00758	0.170E-01	0.862E-02	0.438E-02	0.223E-02
-30.0	0.1765	0.1804	-0.00391	0.130E-02	0.551E-03	0.233E-03	0.986E-04
-100.0	0.1315	0.1474	-0.01591	0.783E-04	0.271E-04	0.935E-05	0.323E-05
-500.0	0.1196	0.1126	0.00708	0.183E-05	0.482E-06	0.127E-06	0.335E-07
-1500.0	0.1002	0.0936	0.00657	0.140E-06	0.308E-07	0.676E-08	0.148E-08

PRH001_5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
 Clay:20.0 Silt:40.4 Organic Carbon:0.25 Bulk Density :1.5100
 Campbells A=-0.163E+01 kPa B= 5.787 R-Square :0.9926

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4268	0.4268	0.00000	0.209E+03	0.209E+03	0.209E+03	0.209E+03
-20.0	0.2838	0.2767	0.00707	0.583E+00	0.378E+00	0.245E+00	0.159E+00
-33.0	0.2524	0.2538	-0.00139	0.180E+00	0.107E+00	0.637E-01	0.379E-01
-60.0	0.2261	0.2289	-0.00277	0.443E-01	0.238E-01	0.127E-01	0.684E-02
-100.0	0.2032	0.2095	-0.00639	0.134E-01	0.657E-02	0.322E-02	0.158E-02
-200.0	0.1814	0.1859	-0.00453	0.263E-02	0.115E-02	0.499E-03	0.217E-03
-400.0	0.1633	0.1649	-0.00162	0.518E-03	0.200E-03	0.773E-04	0.299E-04
-700.0	0.1528	0.1497	0.00312	0.139E-03	0.489E-04	0.171E-04	0.601E-05
-1000.0	0.1447	0.1408	0.00394	0.603E-04	0.199E-04	0.656E-05	0.216E-05
-1500.0	0.1346	0.1312	0.00339	0.233E-04	0.717E-05	0.220E-05	0.678E-06

6. Resultados y discusión

Tabla 6.4. Resultados RETFIT horizonte PRH002 (PERFIL I)

PRH002_1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
 Clay:20.0 Silt:46.8 Organic Carbon:0.19 Bulk Density :1.5200
 Campbells A=-0.107E+01 kPa B= 8.630 R-Square :0.9445

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4238	0.4238	0.00000	0.225E+03	0.225E+03	0.225E+03	0.225E+03
-5.0	0.3339	0.3545	-0.02059	0.723E+01	0.605E+01	0.506E+01	0.423E+01
-10.0	0.3426	0.3271	0.01547	0.154E+01	0.119E+01	0.917E+00	0.708E+00
-40.0	0.2904	0.2786	0.01181	0.698E-01	0.459E-01	0.301E-01	0.198E-01
-200.0	0.2406	0.2312	0.00941	0.192E-02	0.105E-02	0.572E-03	0.312E-03
-1500.0	0.1655	0.1830	-0.01760	0.214E-04	0.925E-05	0.400E-05	0.173E-05

PRH002_2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
 Clay:20.0 Silt:46.8 Organic Carbon:0.19 Bulk Density :1.5200
 Campbells A=-0.325E+00 kPa B= 9.838 R-Square :0.9885

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4238	0.4238	0.00000	0.225E+03	0.225E+03	0.225E+03	0.225E+03
-5.0	0.3164	0.3210	-0.00469	0.549E+00	0.416E+00	0.315E+00	0.239E+00
-10.0	0.2999	0.2992	0.00072	0.119E+00	0.842E-01	0.594E-01	0.420E-01
-40.0	0.2646	0.2599	0.00472	0.562E-02	0.345E-02	0.211E-02	0.130E-02
-200.0	0.2275	0.2207	0.00685	0.162E-03	0.844E-04	0.439E-04	0.229E-04
-1500.0	0.1717	0.1798	-0.00809	0.191E-05	0.812E-06	0.344E-06	0.146E-06

PRH002_3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
 Clay:20.0 Silt:46.8 Organic Carbon:0.19 Bulk Density :1.5200
 Campbells A=-0.172E+01 kPa B= 12.000 R-Square :0.9876

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4238	0.4238	0.00000	0.225E+03	0.225E+03	0.225E+03	0.225E+03
-3.0	0.3890	0.4045	-0.01550	0.672E+02	0.642E+02	0.612E+02	0.585E+02
-10.0	0.3662	0.3659	0.00029	0.495E+01	0.427E+01	0.369E+01	0.319E+01
-30.0	0.3428	0.3339	0.00894	0.458E+00	0.361E+00	0.284E+00	0.224E+00
-100.0	0.3032	0.3020	0.00120	0.337E-01	0.240E-01	0.171E-01	0.122E-01
-1500.0	0.2527	0.2410	0.01166	0.954E-04	0.543E-04	0.309E-04	0.176E-04

PRH002_4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
 Clay:20.0 Silt:46.8 Organic Carbon:0.19 Bulk Density :1.5200
 Campbells A=-0.183E+00 kPa B= 5.970 R-Square :0.9585

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4237	0.4237	0.00000	0.225E+03	0.225E+03	0.225E+03	0.225E+03
-10.0	0.2245	0.2168	0.00765	0.199E-01	0.102E-01	0.520E-02	0.266E-02
-30.0	0.1765	0.1804	-0.00389	0.153E-02	0.650E-03	0.277E-03	0.118E-03
-100.0	0.1315	0.1474	-0.01593	0.919E-04	0.320E-04	0.111E-04	0.387E-05
-500.0	0.1196	0.1126	0.00702	0.214E-05	0.570E-06	0.151E-06	0.402E-07
-1500.0	0.1002	0.0937	0.00650	0.165E-06	0.364E-07	0.806E-08	0.178E-08

PRH002_5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
 Clay:20.0 Silt:46.8 Organic Carbon:0.19 Bulk Density :1.5200
 Campbells A=-0.229E+01 kPa B= 5.560 R-Square :0.9932

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4238	0.4238	0.00000	0.225E+03	0.225E+03	0.225E+03	0.225E+03
-20.0	0.2943	0.2871	0.00720	0.136E+01	0.922E+00	0.624E+00	0.423E+00
-33.0	0.2611	0.2624	-0.00123	0.417E+00	0.258E+00	0.160E+00	0.990E-01
-60.0	0.2325	0.2356	-0.00309	0.102E+00	0.566E-01	0.315E-01	0.175E-01
-100.0	0.2085	0.2149	-0.00643	0.305E-01	0.155E-01	0.785E-02	0.398E-02
-200.0	0.1851	0.1897	-0.00465	0.594E-02	0.266E-02	0.119E-02	0.533E-03
-400.0	0.1660	0.1675	-0.00148	0.116E-02	0.458E-03	0.181E-03	0.715E-04
-700.0	0.1545	0.1515	0.00304	0.309E-03	0.111E-03	0.395E-04	0.141E-04
-1000.0	0.1459	0.1421	0.00380	0.133E-03	0.447E-04	0.150E-04	0.502E-05
-1500.0	0.1359	0.1321	0.00386	0.512E-04	0.160E-04	0.497E-05	0.155E-05

6. Resultados y discusión

Tabla 6.5. Resultados RETFIT horizonte PRH003 (PERFIL I)

PRH003_1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
 Clay:30.5 Silt:40.2 Organic Carbon:0.42 Bulk Density :1.2800
 Campbells A=-0.802E+00 kPa B= 8.955 R-Square :0.9639

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5121	0.5121	0.00000	0.699E+02	0.699E+02	0.699E+02	0.699E+02
-5.0	0.3983	0.4175	-0.01910	0.120E+01	0.974E+00	0.794E+00	0.647E+00
-10.0	0.4006	0.3864	0.01428	0.256E+00	0.193E+00	0.146E+00	0.110E+00
-40.0	0.3422	0.3309	0.01120	0.117E-01	0.759E-02	0.490E-02	0.317E-02
-200.0	0.2843	0.2765	0.00776	0.328E-03	0.177E-03	0.956E-04	0.516E-04
-1500.0	0.2053	0.2208	-0.01549	0.372E-05	0.160E-05	0.691E-06	0.298E-06

PRH003_2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
 Clay:40.5 Silt:40.0 Organic Carbon:0.42 Bulk Density :1.2800
 Campbells A=-0.744E+00 kPa B= 12.000 R-Square :0.9517

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5121	0.5121	0.00000	0.699E+02	0.699E+02	0.699E+02	0.699E+02
-5.0	0.4150	0.4369	-0.02193	0.113E+01	0.962E+00	0.821E+00	0.700E+00
-10.0	0.4004	0.4124	-0.01201	0.251E+00	0.202E+00	0.163E+00	0.131E+00
-40.0	0.3724	0.3674	0.00497	0.125E-01	0.894E-02	0.641E-02	0.460E-02
-200.0	0.3509	0.3213	0.02962	0.381E-03	0.239E-03	0.150E-03	0.941E-04
-1500.0	0.2834	0.2716	0.01176	0.484E-05	0.257E-05	0.136E-05	0.723E-06

PRH003_3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
 Clay:40.5 Silt:40.0 Organic Carbon:0.42 Bulk Density :1.2800
 Campbells A=-0.387E+00 kPa B= 12.000 R-Square :0.9466

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5121	0.5121	0.00000	0.699E+02	0.699E+02	0.699E+02	0.699E+02
-3.0	0.4410	0.4318	0.00917	0.830E+00	0.700E+00	0.590E+00	0.497E+00
-10.0	0.3707	0.3906	-0.01989	0.611E-01	0.466E-01	0.355E-01	0.271E-01
-30.0	0.3486	0.3564	-0.00782	0.565E-02	0.393E-02	0.274E-02	0.191E-02
-100.0	0.3247	0.3224	0.00236	0.416E-03	0.262E-03	0.165E-03	0.104E-03
-1500.0	0.2800	0.2573	0.02271	0.118E-05	0.592E-06	0.297E-06	0.149E-06

PRH003_4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
 Clay:40.5 Silt:40.0 Organic Carbon:0.42 Bulk Density :1.2800
 Campbells A=-0.195E+00 kPa B= 9.583 R-Square :0.9712

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5120	0.5120	0.00000	0.699E+02	0.699E+02	0.699E+02	0.699E+02
-10.0	0.3403	0.3396	0.00072	0.118E-01	0.781E-02	0.518E-02	0.343E-02
-30.0	0.3114	0.3028	0.00861	0.104E-02	0.615E-03	0.364E-03	0.215E-03
-100.0	0.2514	0.2671	-0.01572	0.728E-04	0.380E-04	0.198E-04	0.103E-04
-500.0	0.2257	0.2258	-0.00009	0.208E-05	0.918E-06	0.405E-06	0.178E-06
-1500.0	0.2081	0.2013	0.00679	0.184E-06	0.723E-07	0.284E-07	0.112E-07

PRH003_5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
 Clay:40.5 Silt:40.0 Organic Carbon:0.42 Bulk Density :1.2800
 Campbells A=-0.428E+01 kPa B= 7.593 R-Square :0.9966

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5121	0.5121	0.00000	0.699E+02	0.699E+02	0.699E+02	0.699E+02
-20.0	0.4234	0.4180	0.00544	0.213E+01	0.174E+01	0.142E+01	0.116E+01
-33.0	0.3913	0.3913	0.00000	0.686E+00	0.524E+00	0.400E+00	0.306E+00
-60.0	0.3599	0.3617	-0.00175	0.177E+00	0.125E+00	0.884E-01	0.624E-01
-100.0	0.3324	0.3381	-0.00568	0.558E-01	0.368E-01	0.243E-01	0.160E-01
-200.0	0.3036	0.3086	-0.00502	0.116E-01	0.700E-02	0.422E-02	0.254E-02
-400.0	0.2809	0.2817	-0.00078	0.242E-02	0.133E-02	0.732E-03	0.403E-03
-700.0	0.2646	0.2617	0.00290	0.682E-03	0.348E-03	0.178E-03	0.909E-04
-1000.0	0.2513	0.2497	0.00167	0.304E-03	0.148E-03	0.723E-04	0.352E-04
-1500.0	0.2402	0.2367	0.00347	0.121E-03	0.561E-04	0.259E-04	0.120E-04

6. Resultados y discusión

Tabla 6.6. Resultados RETFIT horizonte PRH005 (PERFIL II)

PRH005_1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
 Clay:24.0 Silt:39.7 Organic Carbon:0.29 Bulk Density :1.6200
 Campbells A=-0.144E+01 kPa B= 10.403 R-Square :0.9143

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.3844	0.3844	0.00000	0.143E+03	0.143E+03	0.143E+03	0.143E+03
-5.0	0.3194	0.3411	-0.02164	0.933E+01	0.827E+01	0.734E+01	0.651E+01
-10.0	0.3349	0.3191	0.01582	0.204E+01	0.169E+01	0.141E+01	0.117E+01
-40.0	0.2896	0.2793	0.01033	0.977E-01	0.710E-01	0.516E-01	0.374E-01
-200.0	0.2523	0.2392	0.01305	0.287E-02	0.178E-02	0.111E-02	0.691E-03
-1500.0	0.1784	0.1971	-0.01870	0.346E-04	0.177E-04	0.910E-05	0.466E-05

PRH005_2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
 Clay:24.0 Silt:39.7 Organic Carbon:0.29 Bulk Density :1.6200
 Campbells A=-0.430E+00 kPa B= 12.000 R-Square :0.9181

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.3844	0.3844	0.00000	0.143E+03	0.143E+03	0.143E+03	0.143E+03
-5.0	0.3004	0.3134	-0.01295	0.704E+00	0.574E+00	0.468E+00	0.381E+00
-10.0	0.2898	0.2958	-0.00597	0.157E+00	0.121E+00	0.928E-01	0.714E-01
-40.0	0.2605	0.2635	-0.00295	0.778E-02	0.533E-02	0.365E-02	0.250E-02
-200.0	0.2568	0.2304	0.02637	0.238E-03	0.143E-03	0.855E-04	0.512E-04
-1500.0	0.1976	0.1948	0.00278	0.302E-05	0.153E-05	0.776E-06	0.393E-06

PRH005_3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
 Clay:24.0 Silt:39.7 Organic Carbon:0.29 Bulk Density :1.6200
 Campbells A=-0.489E+01 kPa B= 12.000 R-Square :0.9890

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.3844	0.3844	0.00000	0.143E+03	0.143E+03	0.143E+03	0.143E+03
-3.0	0.3729	0.3823	-0.00935	0.123E+03	0.123E+03	0.122E+03	0.121E+03
-10.0	0.3620	0.3622	-0.00023	0.304E+02	0.286E+02	0.270E+02	0.254E+02
-30.0	0.3370	0.3305	0.00652	0.281E+01	0.242E+01	0.208E+01	0.179E+01
-100.0	0.2940	0.2990	-0.00495	0.207E+00	0.161E+00	0.125E+00	0.974E-01
-1500.0	0.2432	0.2386	0.00459	0.586E-03	0.364E-03	0.226E-03	0.140E-03

PRH005_4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
 Clay:24.0 Silt:39.7 Organic Carbon:0.29 Bulk Density :1.6200
 Campbells A=-0.545E+00 kPa B= 6.500 R-Square :0.9597

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.3844	0.3844	0.00000	0.143E+03	0.143E+03	0.143E+03	0.143E+03
-10.0	0.2526	0.2457	0.00690	0.173E+00	0.111E+00	0.708E-01	0.452E-01
-30.0	0.2060	0.2075	-0.00144	0.137E-01	0.741E-02	0.400E-02	0.216E-02
-100.0	0.1544	0.1724	-0.01801	0.854E-03	0.383E-03	0.172E-03	0.770E-04
-500.0	0.1420	0.1346	0.00739	0.208E-04	0.728E-05	0.255E-05	0.893E-06
-1500.0	0.1200	0.1137	0.00632	0.165E-05	0.487E-06	0.144E-06	0.426E-07

PRH005_5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
 Clay:24.0 Silt:39.7 Organic Carbon:0.29 Bulk Density :1.6200
 Campbells A=-0.320E+01 kPa B= 6.488 R-Square :0.9925

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.3844	0.3844	0.00000	0.143E+03	0.143E+03	0.143E+03	0.143E+03
-20.0	0.2967	0.2898	0.00691	0.207E+01	0.156E+01	0.118E+01	0.889E+00
-33.0	0.2672	0.2682	-0.00105	0.653E+00	0.456E+00	0.318E+00	0.222E+00
-60.0	0.2421	0.2446	-0.00253	0.164E+00	0.105E+00	0.665E-01	0.423E-01
-100.0	0.2198	0.2261	-0.00626	0.505E-01	0.297E-01	0.175E-01	0.103E-01
-200.0	0.1985	0.2032	-0.00465	0.102E-01	0.539E-02	0.285E-02	0.151E-02
-400.0	0.1811	0.1826	-0.00151	0.206E-02	0.978E-03	0.465E-03	0.221E-03
-700.0	0.1706	0.1675	0.00305	0.566E-03	0.247E-03	0.107E-03	0.468E-04
-1000.0	0.1620	0.1585	0.00348	0.248E-03	0.102E-03	0.423E-04	0.174E-04
-1500.0	0.1523	0.1489	0.00334	0.975E-04	0.378E-04	0.146E-04	0.567E-05

6. Resultados y discusión

Tabla 6.7. Resultados RETFIT horizonte PRH006 (PERFIL II)

PRH006 1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
Clay:20.6 Silt:43.8 Organic Carbon:0.34 Bulk Density :1.4600
Campbells A=-0.915E+00 kPa B= 8.350 R-Square :0.9550

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4446	0.4446	0.00000	0.201E+03	0.201E+03	0.201E+03	0.201E+03
-5.0	0.3433	0.3628	-0.01947	0.448E+01	0.365E+01	0.298E+01	0.243E+01
-10.0	0.3488	0.3339	0.01493	0.948E+00	0.712E+00	0.535E+00	0.402E+00
-40.0	0.2941	0.2828	0.01127	0.425E-01	0.270E-01	0.172E-01	0.109E-01
-200.0	0.2411	0.2332	0.00789	0.116E-02	0.607E-03	0.318E-03	0.167E-03
-1500.0	0.1671	0.1832	-0.01613	0.127E-04	0.523E-05	0.216E-05	0.888E-06

PRH006 2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
Clay:20.6 Silt:43.8 Organic Carbon:0.34 Bulk Density :1.4600
Campbells A=-0.245E+00 kPa B= 9.840 R-Square :0.9904

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4445	0.4445	0.00000	0.201E+03	0.201E+03	0.201E+03	0.201E+03
-5.0	0.3234	0.3272	-0.00383	0.262E+00	0.193E+00	0.142E+00	0.105E+00
-10.0	0.3053	0.3050	0.00030	0.569E-01	0.390E-01	0.268E-01	0.184E-01
-40.0	0.2684	0.2649	0.00354	0.268E-02	0.160E-02	0.953E-03	0.568E-03
-200.0	0.2321	0.2249	0.00712	0.774E-04	0.392E-04	0.198E-04	0.100E-04
-1500.0	0.1757	0.1833	-0.00758	0.914E-06	0.377E-06	0.155E-06	0.640E-07

PRH006 3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
Clay:20.6 Silt:43.8 Organic Carbon:0.34 Bulk Density :1.4600
Campbells A=-0.842E+00 kPa B= 12.000 R-Square :0.9900

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4446	0.4446	0.00000	0.201E+03	0.201E+03	0.201E+03	0.201E+03
-3.0	0.3897	0.3999	-0.01026	0.128E+02	0.115E+02	0.104E+02	0.932E+01
-10.0	0.3630	0.3617	0.00123	0.943E+00	0.767E+00	0.624E+00	0.508E+00
-30.0	0.3384	0.3301	0.00832	0.872E-01	0.648E-01	0.481E-01	0.357E-01
-100.0	0.2961	0.2986	-0.00249	0.642E-02	0.431E-02	0.290E-02	0.195E-02
-1500.0	0.2453	0.2383	0.00701	0.182E-04	0.974E-05	0.522E-05	0.280E-05

PRH006 4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
Clay:20.6 Silt:43.8 Organic Carbon:0.34 Bulk Density :1.4600
Campbells A=-0.147E+00 kPa B= 6.045 R-Square :0.9586

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4443	0.4443	0.00000	0.201E+03	0.201E+03	0.201E+03	0.201E+03
-10.0	0.2288	0.2213	0.00755	0.109E-01	0.542E-02	0.270E-02	0.134E-02
-30.0	0.1810	0.1845	-0.00357	0.841E-03	0.349E-03	0.145E-03	0.602E-04
-100.0	0.1349	0.1512	-0.01631	0.508E-04	0.173E-04	0.588E-05	0.200E-05
-500.0	0.1230	0.1159	0.00714	0.119E-05	0.311E-06	0.811E-07	0.211E-07
-1500.0	0.1031	0.0966	0.00647	0.922E-07	0.200E-07	0.436E-08	0.947E-09

PRH006 5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
Clay:20.6 Silt:43.8 Organic Carbon:0.34 Bulk Density :1.4600
Campbells A=-0.193E+01 kPa B= 5.683 R-Square :0.9938

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4446	0.4446	0.00000	0.201E+03	0.201E+03	0.201E+03	0.201E+03
-20.0	0.3016	0.2947	0.00691	0.825E+00	0.547E+00	0.362E+00	0.240E+00
-33.0	0.2686	0.2699	-0.00123	0.254E+00	0.154E+00	0.936E-01	0.568E-01
-60.0	0.2401	0.2429	-0.00276	0.623E-01	0.340E-01	0.186E-01	0.102E-01
-100.0	0.2158	0.2220	-0.00624	0.187E-01	0.935E-02	0.467E-02	0.233E-02
-200.0	0.1920	0.1965	-0.00450	0.367E-02	0.162E-02	0.717E-03	0.317E-03
-400.0	0.1725	0.1740	-0.00148	0.718E-03	0.281E-03	0.110E-03	0.430E-04
-700.0	0.1607	0.1576	0.00306	0.193E-03	0.683E-04	0.242E-04	0.859E-05
-1000.0	0.1518	0.1481	0.00375	0.833E-04	0.277E-04	0.923E-05	0.308E-05
-1500.0	0.1414	0.1379	0.00355	0.321E-04	0.995E-05	0.309E-05	0.957E-06

6. Resultados y discusión

Tabla 6.8. Resultados RETFIT horizonte PRH007 (PERFIL II)

PRH007_1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
 Clay:20.0 Silt:30.4 Organic Carbon:0.15 Bulk Density :1.4900
 Campbells A=-0.608E+00 kPa B= 8.280 R-Square :0.9632

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4357	0.4357	0.00000	0.188E+03	0.188E+03	0.188E+03	0.188E+03
-5.0	0.3210	0.3378	-0.01681	0.168E+01	0.130E+01	0.101E+01	0.781E+00
-10.0	0.3248	0.3107	0.01411	0.354E+00	0.253E+00	0.180E+00	0.128E+00
-40.0	0.2711	0.2628	0.00832	0.158E-01	0.955E-02	0.576E-02	0.348E-02
-200.0	0.2222	0.2164	0.00585	0.430E-03	0.213E-03	0.106E-03	0.526E-04
-1500.0	0.1570	0.1696	-0.01261	0.469E-05	0.183E-05	0.711E-06	0.277E-06

PRH007_2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
 Clay:20.0 Silt:30.4 Organic Carbon:0.15 Bulk Density :1.4900
 Campbells A=-0.361E-01 kPa B= 11.952 R-Square :0.9533

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4338	0.4338	0.00000	0.188E+03	0.188E+03	0.188E+03	0.188E+03
-5.0	0.2917	0.2884	0.00329	0.482E-02	0.321E-02	0.213E-02	0.142E-02
-10.0	0.2686	0.2722	-0.00359	0.107E-02	0.674E-03	0.423E-03	0.265E-03
-40.0	0.2342	0.2424	-0.00820	0.532E-04	0.297E-04	0.166E-04	0.929E-05
-200.0	0.2275	0.2118	0.01566	0.163E-05	0.794E-06	0.388E-06	0.189E-06
-1500.0	0.1717	0.1790	-0.00728	0.206E-07	0.852E-08	0.351E-08	0.145E-08

PRH007_3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
 Clay:20.0 Silt:30.4 Organic Carbon:0.15 Bulk Density :1.4900
 Campbells A=-0.515E+00 kPa B= 9.715 R-Square :0.9826

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4357	0.4357	0.00000	0.188E+03	0.188E+03	0.188E+03	0.188E+03
-3.0	0.3572	0.3634	-0.00619	0.386E+01	0.322E+01	0.268E+01	0.224E+01
-10.0	0.3294	0.3211	0.00831	0.271E+00	0.200E+00	0.147E+00	0.108E+00
-30.0	0.2944	0.2867	0.00763	0.240E-01	0.158E-01	0.104E-01	0.684E-02
-100.0	0.2416	0.2533	-0.01170	0.169E-02	0.980E-03	0.570E-03	0.331E-03
-1500.0	0.1934	0.1917	0.00175	0.429E-05	0.189E-05	0.831E-06	0.365E-06

PRH007_4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
 Clay:20.0 Silt:30.4 Organic Carbon:0.15 Bulk Density :1.4900
 Campbells A=-0.156E+00 kPa B= 5.963 R-Square :0.9585

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4355	0.4355	0.00000	0.188E+03	0.188E+03	0.188E+03	0.188E+03
-10.0	0.2245	0.2169	0.00756	0.115E-01	0.572E-02	0.285E-02	0.142E-02
-30.0	0.1765	0.1804	-0.00393	0.882E-03	0.365E-03	0.151E-03	0.627E-04
-100.0	0.1315	0.1474	-0.01592	0.530E-04	0.179E-04	0.608E-05	0.206E-05
-500.0	0.1196	0.1126	0.00707	0.124E-05	0.319E-06	0.826E-07	0.213E-07
-1500.0	0.1002	0.0936	0.00656	0.950E-07	0.204E-07	0.439E-08	0.944E-09

PRH007_5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
 Clay:20.0 Silt:30.4 Organic Carbon:0.15 Bulk Density :1.4900
 Campbells A=-0.704E+00 kPa B= 6.190 R-Square :0.9901

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4357	0.4357	0.00000	0.188E+03	0.188E+03	0.188E+03	0.188E+03
-20.0	0.2610	0.2537	0.00722	0.791E-01	0.461E-01	0.268E-01	0.156E-01
-33.0	0.2324	0.2340	-0.00163	0.247E-01	0.133E-01	0.713E-02	0.383E-02
-60.0	0.2101	0.2125	-0.00243	0.616E-02	0.301E-02	0.147E-02	0.715E-03
-100.0	0.1891	0.1956	-0.00653	0.188E-02	0.845E-03	0.379E-03	0.170E-03
-200.0	0.1704	0.1749	-0.00449	0.376E-03	0.151E-03	0.606E-04	0.243E-04
-400.0	0.1545	0.1564	-0.00189	0.751E-04	0.270E-04	0.968E-05	0.347E-05
-700.0	0.1462	0.1429	0.00331	0.205E-04	0.671E-05	0.220E-05	0.722E-06
-1000.0	0.1391	0.1349	0.00427	0.894E-05	0.277E-05	0.857E-06	0.265E-06
-1500.0	0.1292	0.1263	0.00284	0.349E-05	0.101E-05	0.293E-06	0.849E-07

6. Resultados y discusión

Tabla 6.9. Resultados RETFIT horizonte PRH008 (PERFIL II)

PRH008_1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
 Clay:16.6 Silt:34.4 Organic Carbon:0.08 Bulk Density :1.4800
 Campbells A=-0.623E+00 kPa B= 7.580 R-Square :0.9668

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4404	0.4404	0.00000	0.279E+03	0.279E+03	0.279E+03	0.279E+03
-5.0	0.3179	0.3346	-0.01674	0.250E+01	0.190E+01	0.144E+01	0.110E+01
-10.0	0.3195	0.3054	0.01413	0.521E+00	0.361E+00	0.251E+00	0.174E+00
-40.0	0.2636	0.2543	0.00925	0.226E-01	0.130E-01	0.753E-02	0.435E-02
-200.0	0.2102	0.2057	0.00455	0.591E-03	0.276E-03	0.129E-03	0.602E-04
-1500.0	0.1451	0.1577	-0.01256	0.617E-05	0.221E-05	0.791E-06	0.283E-06

PRH008_2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
 Clay:16.6 Silt:34.4 Organic Carbon:0.08 Bulk Density :1.4800
 Campbells A=-0.105E+00 kPa B= 9.080 R-Square :0.9899

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4401	0.4401	0.00000	0.279E+03	0.279E+03	0.279E+03	0.279E+03
-5.0	0.2890	0.2878	0.00127	0.531E-01	0.347E-01	0.227E-01	0.148E-01
-10.0	0.2639	0.2666	-0.00271	0.114E-01	0.690E-02	0.418E-02	0.253E-02
-40.0	0.2266	0.2289	-0.00223	0.525E-03	0.273E-03	0.142E-03	0.738E-04
-200.0	0.2006	0.1917	0.00892	0.147E-04	0.642E-05	0.279E-05	0.122E-05
-1500.0	0.1481	0.1535	-0.00541	0.168E-06	0.586E-07	0.204E-07	0.713E-08

PRH008_3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
 Clay:16.6 Silt:34.4 Organic Carbon:0.08 Bulk Density :1.4800
 Campbells A=-0.481E+00 kPa B= 9.840 R-Square :0.9830

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4404	0.4404	0.00000	0.279E+03	0.279E+03	0.279E+03	0.279E+03
-3.0	0.3596	0.3657	-0.00607	0.495E+01	0.411E+01	0.341E+01	0.283E+01
-10.0	0.3316	0.3236	0.00800	0.349E+00	0.256E+00	0.188E+00	0.138E+00
-30.0	0.2971	0.2894	0.00774	0.310E-01	0.204E-01	0.134E-01	0.879E-02
-100.0	0.2446	0.2560	-0.01146	0.218E-02	0.127E-02	0.738E-03	0.429E-03
-1500.0	0.1961	0.1944	0.00170	0.559E-05	0.247E-05	0.109E-05	0.481E-06

PRH008_4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
 Clay:16.6 Silt:34.4 Organic Carbon:0.08 Bulk Density :1.4800
 Campbells A=-0.985E-01 kPa B= 5.540 R-Square :0.9587

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4399	0.4399	0.00000	0.279E+03	0.279E+03	0.279E+03	0.279E+03
-10.0	0.1990	0.1913	0.00768	0.520E-02	0.226E-02	0.983E-03	0.427E-03
-30.0	0.1513	0.1569	-0.00563	0.388E-03	0.138E-03	0.494E-04	0.176E-04
-100.0	0.1128	0.1262	-0.01342	0.226E-04	0.649E-05	0.186E-05	0.535E-06
-500.0	0.1005	0.0944	0.00608	0.506E-06	0.109E-06	0.233E-07	0.501E-08
-1500.0	0.0843	0.0774	0.00690	0.378E-07	0.666E-08	0.117E-08	0.206E-09

PRH008_5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
 Clay:16.6 Silt:34.4 Organic Carbon:0.08 Bulk Density :1.4800
 Campbells A=-0.730E+00 kPa B= 5.508 R-Square :0.9901

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4404	0.4404	0.00000	0.279E+03	0.279E+03	0.279E+03	0.279E+03
-20.0	0.2489	0.2415	0.00742	0.112E+00	0.614E-01	0.336E-01	0.184E-01
-33.0	0.2187	0.2205	-0.00180	0.343E-01	0.172E-01	0.859E-02	0.430E-02
-60.0	0.1951	0.1978	-0.00275	0.834E-02	0.375E-02	0.168E-02	0.756E-03
-100.0	0.1737	0.1803	-0.00658	0.250E-02	0.102E-02	0.418E-03	0.171E-03
-200.0	0.1546	0.1590	-0.00438	0.485E-03	0.175E-03	0.632E-04	0.228E-04
-400.0	0.1383	0.1402	-0.00186	0.943E-04	0.300E-04	0.955E-05	0.304E-05
-700.0	0.1300	0.1266	0.00335	0.251E-04	0.722E-05	0.208E-05	0.597E-06
-1000.0	0.1233	0.1187	0.00459	0.108E-04	0.291E-05	0.785E-06	0.212E-06
-1500.0	0.1134	0.1103	0.00311	0.415E-05	0.104E-05	0.260E-06	0.651E-07

6. Resultados y discusión

Tabla 6.10. Resultados RETFIT horizonte PRH010 (PERFIL III)

PRH010_1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
 Clay:24.0 Silt:44.5 Organic Carbon:0.26 Bulk Density :1.4500
 Campbells A=-0.100E+01 kPa B= 8.913 R-Square :0.9494

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4494	0.4494	0.00000	0.154E+03	0.154E+03	0.154E+03	0.154E+03
-5.0	0.3548	0.3752	-0.02034	0.428E+01	0.358E+01	0.299E+01	0.249E+01
-10.0	0.3623	0.3471	0.01515	0.917E+00	0.708E+00	0.547E+00	0.422E+00
-40.0	0.3087	0.2971	0.01158	0.420E-01	0.278E-01	0.183E-01	0.121E-01
-200.0	0.2574	0.2480	0.00934	0.117E-02	0.646E-03	0.356E-03	0.197E-03
-1500.0	0.1807	0.1978	-0.01718	0.132E-04	0.583E-05	0.256E-05	0.113E-05

PRH010_2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
 Clay:24.0 Silt:44.5 Organic Carbon:0.26 Bulk Density :1.4500
 Campbells A=-0.220E+00 kPa B= 11.350 R-Square :0.9839

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4494	0.4494	0.00000	0.154E+03	0.154E+03	0.154E+03	0.154E+03
-5.0	0.3378	0.3412	-0.00341	0.171E+00	0.130E+00	0.988E-01	0.750E-01
-10.0	0.3207	0.3210	-0.00035	0.379E-01	0.271E-01	0.193E-01	0.138E-01
-40.0	0.2861	0.2841	0.00201	0.186E-02	0.117E-02	0.742E-03	0.469E-03
-200.0	0.2568	0.2466	0.01024	0.559E-04	0.307E-04	0.168E-04	0.923E-05
-1500.0	0.1976	0.2064	-0.00886	0.697E-06	0.320E-06	0.147E-06	0.676E-07

PRH010_3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
 Clay:24.0 Silt:44.5 Organic Carbon:0.26 Bulk Density :1.4500
 Campbells A=-0.101E+01 kPa B= 12.000 R-Square :0.9956

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4494	0.4494	0.00000	0.154E+03	0.154E+03	0.154E+03	0.154E+03
-3.0	0.3994	0.4105	-0.01111	0.145E+02	0.133E+02	0.121E+02	0.111E+02
-10.0	0.3680	0.3713	-0.00326	0.107E+01	0.885E+00	0.731E+00	0.604E+00
-30.0	0.3453	0.3388	0.00654	0.991E-01	0.747E-01	0.563E-01	0.424E-01
-100.0	0.3077	0.3065	0.00126	0.730E-02	0.497E-02	0.339E-02	0.231E-02
-1500.0	0.2575	0.2445	0.01294	0.206E-04	0.112E-04	0.611E-05	0.333E-05

PRH010_4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
 Clay:24.0 Silt:44.5 Organic Carbon:0.26 Bulk Density :1.4500
 Campbells A=-0.197E+00 kPa B= 6.500 R-Square :0.9597

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4493	0.4493	0.00000	0.154E+03	0.154E+03	0.154E+03	0.154E+03
-10.0	0.2526	0.2457	0.00691	0.179E-01	0.981E-02	0.536E-02	0.293E-02
-30.0	0.2060	0.2075	-0.00144	0.142E-02	0.656E-03	0.303E-03	0.140E-03
-100.0	0.1544	0.1724	-0.01800	0.883E-04	0.339E-04	0.130E-04	0.499E-05
-500.0	0.1420	0.1346	0.00739	0.215E-05	0.645E-06	0.193E-06	0.579E-07
-1500.0	0.1200	0.1137	0.00633	0.171E-06	0.432E-07	0.109E-07	0.276E-08

PRH010_5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
 Clay:24.0 Silt:44.5 Organic Carbon:0.26 Bulk Density :1.4500
 Campbells A=-0.228E+01 kPa B= 6.020 R-Square :0.9940

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4494	0.4494	0.00000	0.154E+03	0.154E+03	0.154E+03	0.154E+03
-20.0	0.3203	0.3133	0.00698	0.971E+00	0.677E+00	0.472E+00	0.329E+00
-33.0	0.2874	0.2883	-0.00097	0.302E+00	0.194E+00	0.124E+00	0.797E-01
-60.0	0.2583	0.2611	-0.00281	0.749E-01	0.435E-01	0.253E-01	0.147E-01
-100.0	0.2335	0.2398	-0.00635	0.228E-01	0.121E-01	0.648E-02	0.346E-02
-200.0	0.2090	0.2137	-0.00478	0.452E-02	0.215E-02	0.102E-02	0.486E-03
-400.0	0.1891	0.1905	-0.00141	0.897E-03	0.380E-03	0.161E-03	0.683E-04
-700.0	0.1766	0.1736	0.00303	0.243E-03	0.940E-04	0.363E-04	0.140E-04
-1000.0	0.1671	0.1636	0.00345	0.106E-03	0.385E-04	0.140E-04	0.511E-05
-1500.0	0.1567	0.1529	0.00380	0.411E-04	0.140E-04	0.476E-05	0.162E-05

6. Resultados y discusión

Tabla 6.11. Resultados RETFIT horizonte PRH011 (PERFIL III)

PRH011_1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
 Clay:29.0 Silt:42.8 Organic Carbon:0.24 Bulk Density :1.3200
 Campbells A=-0.851E+00 kPa B= 8.920 R-Square :0.9602

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4990	0.4990	0.00000	0.106E+03	0.106E+03	0.106E+03	0.106E+03
-5.0	0.3895	0.4092	-0.01968	0.207E+01	0.169E+01	0.139E+01	0.114E+01
-10.0	0.3932	0.3786	0.01461	0.442E+00	0.335E+00	0.254E+00	0.193E+00
-40.0	0.3358	0.3241	0.01170	0.202E-01	0.132E-01	0.854E-02	0.555E-02
-200.0	0.2788	0.2706	0.00824	0.565E-03	0.306E-03	0.166E-03	0.900E-04
-1500.0	0.1997	0.2159	-0.01618	0.639E-05	0.276E-05	0.120E-05	0.517E-06

PRH011_2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
 Clay:29.0 Silt:42.8 Organic Carbon:0.24 Bulk Density :1.3200
 Campbells A=-0.173E+00 kPa B= 12.000 R-Square :0.9827

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4989	0.4989	0.00000	0.106E+03	0.106E+03	0.106E+03	0.106E+03
-5.0	0.3738	0.3770	-0.00327	0.728E-01	0.550E-01	0.416E-01	0.314E-01
-10.0	0.3530	0.3559	-0.00284	0.162E-01	0.116E-01	0.825E-02	0.588E-02
-40.0	0.3184	0.3170	0.00140	0.804E-03	0.511E-03	0.325E-03	0.206E-03
-200.0	0.2899	0.2773	0.01261	0.246E-04	0.137E-04	0.760E-05	0.422E-05
-1500.0	0.2272	0.2344	-0.00724	0.313E-06	0.147E-06	0.690E-07	0.324E-07

PRH011_3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
 Clay:29.0 Silt:42.8 Organic Carbon:0.24 Bulk Density :1.3200
 Campbells A=-0.386E+00 kPa B= 12.000 R-Square :0.9920

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4990	0.4990	0.00000	0.106E+03	0.106E+03	0.106E+03	0.106E+03
-3.0	0.4188	0.4206	-0.00186	0.125E+01	0.105E+01	0.887E+00	0.747E+00
-10.0	0.3705	0.3805	-0.01001	0.919E-01	0.701E-01	0.534E-01	0.407E-01
-30.0	0.3487	0.3472	0.00152	0.850E-02	0.591E-02	0.411E-02	0.286E-02
-100.0	0.3150	0.3141	0.00095	0.626E-03	0.394E-03	0.248E-03	0.156E-03
-1500.0	0.2657	0.2506	0.01512	0.177E-05	0.890E-06	0.447E-06	0.224E-06

PRH011_4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
 Clay:29.0 Silt:42.8 Organic Carbon:0.24 Bulk Density :1.3200
 Campbells A=-0.146E+00 kPa B= 7.260 R-Square :0.9627

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4988	0.4988	0.00000	0.106E+03	0.106E+03	0.106E+03	0.106E+03
-10.0	0.2843	0.2789	0.00540	0.715E-02	0.400E-02	0.223E-02	0.125E-02
-30.0	0.2417	0.2397	0.00197	0.587E-03	0.282E-03	0.136E-03	0.651E-04
-100.0	0.1839	0.2031	-0.01917	0.379E-04	0.154E-04	0.628E-05	0.256E-05
-500.0	0.1691	0.1627	0.00643	0.973E-06	0.317E-06	0.104E-06	0.338E-07
-1500.0	0.1461	0.1399	0.00627	0.799E-07	0.224E-07	0.628E-08	0.176E-08

PRH011_5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
 Clay:29.0 Silt:42.8 Organic Carbon:0.24 Bulk Density :1.3200
 Campbells A=-0.198E+01 kPa B= 6.438 R-Square :0.9948

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4990	0.4990	0.00000	0.106E+03	0.106E+03	0.106E+03	0.106E+03
-20.0	0.3552	0.3485	0.00673	0.507E+00	0.354E+00	0.247E+00	0.173E+00
-33.0	0.3217	0.3224	-0.00070	0.160E+00	0.103E+00	0.666E-01	0.430E-01
-60.0	0.2912	0.2938	-0.00262	0.401E-01	0.236E-01	0.139E-01	0.818E-02
-100.0	0.2651	0.2714	-0.00633	0.123E-01	0.669E-02	0.364E-02	0.198E-02
-200.0	0.2387	0.2437	-0.00500	0.248E-02	0.121E-02	0.592E-03	0.289E-03
-400.0	0.2175	0.2188	-0.00130	0.500E-03	0.219E-03	0.962E-04	0.422E-04
-700.0	0.2036	0.2006	0.00304	0.137E-03	0.552E-04	0.222E-04	0.891E-05
-1000.0	0.1928	0.1898	0.00303	0.602E-04	0.229E-04	0.871E-05	0.331E-05
-1500.0	0.1821	0.1782	0.00387	0.236E-04	0.842E-05	0.301E-05	0.107E-05

6. Resultados y discusión

Tabla 6.12. Resultados RETFIT horizonte PRH012 (PERFIL III)

PRH012_1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
 Clay:26.6 Silt:40.0 Organic Carbon:0.10 Bulk Density :1.3200
 Campbells A=-0.719E+00 kPa B= 8.445 R-Square :0.9663

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5007	0.5007	0.00000	0.120E+03	0.120E+03	0.120E+03	0.120E+03
-5.0	0.3795	0.3979	-0.01846	0.156E+01	0.124E+01	0.986E+00	0.784E+00
-10.0	0.3808	0.3666	0.01421	0.331E+00	0.242E+00	0.178E+00	0.130E+00
-40.0	0.3221	0.3111	0.01101	0.149E-01	0.926E-02	0.575E-02	0.357E-02
-200.0	0.2635	0.2571	0.00636	0.407E-03	0.209E-03	0.107E-03	0.551E-04
-1500.0	0.1880	0.2025	-0.01455	0.449E-05	0.182E-05	0.735E-06	0.297E-06

PRH012_2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
 Clay:26.6 Silt:40.0 Organic Carbon:0.10 Bulk Density :1.3200
 Campbells A=-0.104E+00 kPa B= 11.728 R-Square :0.9835

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5004	0.5004	0.00000	0.120E+03	0.120E+03	0.120E+03	0.120E+03
-5.0	0.3602	0.3598	0.00041	0.269E-01	0.193E-01	0.139E-01	0.100E-01
-10.0	0.3357	0.3391	-0.00342	0.597E-02	0.405E-02	0.274E-02	0.186E-02
-40.0	0.3002	0.3013	-0.00114	0.295E-03	0.178E-03	0.107E-03	0.644E-04
-200.0	0.2745	0.2627	0.01181	0.896E-05	0.470E-05	0.247E-05	0.130E-05
-1500.0	0.2134	0.2212	-0.00786	0.113E-06	0.499E-07	0.221E-07	0.976E-08

PRH012_3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
 Clay:26.6 Silt:40.0 Organic Carbon:0.10 Bulk Density :1.3200
 Campbells A=-0.269E+00 kPa B= 12.000 R-Square :0.9955

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5007	0.5007	0.00000	0.120E+03	0.120E+03	0.120E+03	0.120E+03
-3.0	0.4077	0.4096	-0.00184	0.645E+00	0.528E+00	0.432E+00	0.353E+00
-10.0	0.3659	0.3705	-0.00455	0.475E-01	0.352E-01	0.260E-01	0.193E-01
-30.0	0.3424	0.3381	0.00439	0.440E-02	0.297E-02	0.200E-02	0.135E-02
-100.0	0.3026	0.3058	-0.00322	0.324E-03	0.198E-03	0.121E-03	0.738E-04
-1500.0	0.2520	0.2440	0.00796	0.916E-06	0.447E-06	0.218E-06	0.106E-06

PRH012_4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
 Clay:26.6 Silt:40.0 Organic Carbon:0.10 Bulk Density :1.3200
 Campbells A=-0.120E+00 kPa B= 6.883 R-Square :0.9611

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5004	0.5004	0.00000	0.120E+03	0.120E+03	0.120E+03	0.120E+03
-10.0	0.2696	0.2634	0.00618	0.484E-02	0.255E-02	0.134E-02	0.705E-03
-30.0	0.2248	0.2245	0.00029	0.390E-03	0.175E-03	0.786E-04	0.353E-04
-100.0	0.1697	0.1885	-0.01885	0.248E-04	0.933E-05	0.352E-05	0.132E-05
-500.0	0.1562	0.1492	0.00704	0.621E-06	0.185E-06	0.552E-07	0.165E-07
-1500.0	0.1334	0.1272	0.00623	0.501E-07	0.127E-07	0.324E-08	0.823E-09

PRH012_5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
 Clay:26.6 Silt:40.0 Organic Carbon:0.10 Bulk Density :1.3200
 Campbells A=-0.129E+01 kPa B= 6.295 R-Square :0.9937

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5007	0.5007	0.00000	0.120E+03	0.120E+03	0.120E+03	0.120E+03
-20.0	0.3310	0.3238	0.00714	0.207E+00	0.134E+00	0.866E-01	0.560E-01
-33.0	0.2981	0.2991	-0.00092	0.649E-01	0.387E-01	0.231E-01	0.138E-01
-60.0	0.2692	0.2720	-0.00272	0.162E-01	0.882E-02	0.479E-02	0.260E-02
-100.0	0.2442	0.2508	-0.00654	0.497E-02	0.249E-02	0.125E-02	0.624E-03
-200.0	0.2196	0.2246	-0.00499	0.996E-03	0.447E-03	0.201E-03	0.900E-04
-400.0	0.1997	0.2012	-0.00150	0.200E-03	0.803E-04	0.323E-04	0.130E-04
-700.0	0.1872	0.1841	0.00314	0.546E-04	0.201E-04	0.738E-05	0.271E-05
-1000.0	0.1774	0.1739	0.00343	0.239E-04	0.830E-05	0.288E-05	0.100E-05
-1500.0	0.1669	0.1631	0.00377	0.934E-05	0.304E-05	0.991E-06	0.323E-06



6. Resultados y discusión

Tabla 6.13. Resultados RETFIT horizonte PRH014 (PERFIL IV)

PRH014_1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
 Clay:26.5 Silt:28.3 Organic Carbon:0.34 Bulk Density :1.5600
 Campbells A=-0.866E+00 kPa B= 10.405 R-Square :0.9347

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4065	0.4065	0.00000	0.100E+03	0.100E+03	0.100E+03	0.100E+03
-5.0	0.3244	0.3435	-0.01908	0.214E+01	0.181E+01	0.153E+01	0.129E+01
-10.0	0.3362	0.3214	0.01487	0.469E+00	0.371E+00	0.293E+00	0.232E+00
-40.0	0.2893	0.2813	0.00803	0.225E-01	0.155E-01	0.108E-01	0.744E-02
-200.0	0.2518	0.2410	0.01085	0.659E-03	0.391E-03	0.232E-03	0.137E-03
-1500.0	0.1829	0.1985	-0.01560	0.796E-05	0.389E-05	0.190E-05	0.927E-06

PRH014_2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
 Clay:26.5 Silt:28.3 Organic Carbon:0.34 Bulk Density :1.5600
 Campbells A=-0.247E+00 kPa B= 12.000 R-Square :0.7676

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4065	0.4065	0.00000	0.100E+03	0.100E+03	0.100E+03	0.100E+03
-5.0	0.2986	0.3164	-0.01774	0.148E+00	0.115E+00	0.895E-01	0.697E-01
-10.0	0.2839	0.2986	-0.01471	0.329E-01	0.242E-01	0.178E-01	0.131E-01
-40.0	0.2556	0.2660	-0.01039	0.163E-02	0.107E-02	0.700E-03	0.458E-03
-200.0	0.2738	0.2326	0.04119	0.500E-04	0.286E-04	0.164E-04	0.936E-05
-1500.0	0.2128	0.1967	0.01608	0.635E-06	0.307E-06	0.149E-06	0.719E-07

PRH014_3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
 Clay:26.5 Silt:28.3 Organic Carbon:0.34 Bulk Density :1.5600
 Campbells A=-0.103E+01 kPa B= 11.233 R-Square :0.9723

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4065	0.4065	0.00000	0.100E+03	0.100E+03	0.100E+03	0.100E+03
-3.0	0.3598	0.3697	-0.00985	0.979E+01	0.890E+01	0.809E+01	0.736E+01
-10.0	0.3427	0.3321	0.01064	0.711E+00	0.581E+00	0.474E+00	0.388E+00
-30.0	0.3114	0.3012	0.01028	0.650E-01	0.481E-01	0.357E-01	0.264E-01
-100.0	0.2607	0.2705	-0.00980	0.472E-02	0.314E-02	0.209E-02	0.139E-02
-1500.0	0.2110	0.2126	-0.00156	0.129E-04	0.677E-05	0.354E-05	0.185E-05

PRH014_4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
 Clay:26.5 Silt:28.3 Organic Carbon:0.34 Bulk Density :1.5600
 Campbells A=-0.500E+00 kPa B= 6.865 R-Square :0.9610

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4065	0.4065	0.00000	0.100E+03	0.100E+03	0.100E+03	0.100E+03
-10.0	0.2689	0.2627	0.00621	0.104E+00	0.675E-01	0.436E-01	0.282E-01
-30.0	0.2241	0.2239	0.00024	0.842E-02	0.464E-02	0.255E-02	0.141E-02
-100.0	0.1691	0.1879	-0.01880	0.534E-03	0.247E-03	0.114E-03	0.527E-04
-500.0	0.1557	0.1486	0.00709	0.134E-04	0.488E-05	0.178E-05	0.652E-06
-1500.0	0.1329	0.1266	0.00626	0.108E-05	0.336E-06	0.105E-06	0.326E-07

PRH014_5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
 Clay:26.5 Silt:28.3 Organic Carbon:0.34 Bulk Density :1.5600
 Campbells A=-0.157E+01 kPa B= 7.327 R-Square :0.9921

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4065	0.4065	0.00000	0.100E+03	0.100E+03	0.100E+03	0.100E+03
-20.0	0.2936	0.2871	0.00642	0.306E+00	0.216E+00	0.153E+00	0.108E+00
-33.0	0.2670	0.2682	-0.00117	0.980E-01	0.646E-01	0.426E-01	0.281E-01
-60.0	0.2454	0.2472	-0.00177	0.252E-01	0.153E-01	0.930E-02	0.566E-02
-100.0	0.2245	0.2305	-0.00603	0.788E-02	0.447E-02	0.253E-02	0.144E-02
-200.0	0.2053	0.2097	-0.00441	0.163E-02	0.841E-03	0.434E-03	0.224E-03
-400.0	0.1892	0.1908	-0.00160	0.337E-03	0.158E-03	0.743E-04	0.349E-04
-700.0	0.1799	0.1768	0.00318	0.946E-04	0.411E-04	0.179E-04	0.777E-05
-1000.0	0.1718	0.1684	0.00340	0.420E-04	0.174E-04	0.721E-05	0.299E-05
-1500.0	0.1617	0.1593	0.00242	0.167E-04	0.656E-05	0.257E-05	0.101E-05

6. Resultados y discusión

Tabla 6.14. Resultados RETFIT horizonte PRH015 (PERFIL IV)

PRH015_1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
 Clay:28.3 Silt:33.7 Organic Carbon:0.09 Bulk Density :1.4100
 Campbells A=-0.725E+00 kPa B= 9.360 R-Square :0.9564

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4668	0.4668	0.00000	0.967E+02	0.967E+02	0.967E+02	0.967E+02
-5.0	0.3612	0.3798	-0.01863	0.135E+01	0.110E+01	0.892E+00	0.725E+00
-10.0	0.3671	0.3527	0.01447	0.290E+00	0.219E+00	0.166E+00	0.125E+00
-40.0	0.3137	0.3041	0.00955	0.135E-01	0.879E-02	0.573E-02	0.373E-02
-200.0	0.2645	0.2561	0.00842	0.383E-03	0.210E-03	0.115E-03	0.632E-04
-1500.0	0.1916	0.2065	-0.01488	0.442E-05	0.196E-05	0.866E-06	0.383E-06

PRH015_2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
 Clay:28.3 Silt:33.7 Organic Carbon:0.09 Bulk Density :1.4100
 Campbells A=-0.152E+00 kPa B= 12.000 R-Square :0.9220

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4667	0.4667	0.00000	0.967E+02	0.967E+02	0.967E+02	0.967E+02
-5.0	0.3394	0.3488	-0.00940	0.499E-01	0.373E-01	0.279E-01	0.208E-01
-10.0	0.3180	0.3292	-0.01120	0.111E-01	0.784E-02	0.553E-02	0.390E-02
-40.0	0.2870	0.2933	-0.00635	0.551E-03	0.347E-03	0.218E-03	0.137E-03
-200.0	0.2855	0.2565	0.02898	0.169E-04	0.927E-05	0.509E-05	0.280E-05
-1500.0	0.2232	0.2168	0.00636	0.214E-06	0.996E-07	0.463E-07	0.215E-07

PRH015_3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
 Clay:28.3 Silt:33.7 Organic Carbon:0.09 Bulk Density :1.4100
 Campbells A=-0.399E+00 kPa B= 12.000 R-Square :0.9913

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4668	0.4668	0.00000	0.967E+02	0.967E+02	0.967E+02	0.967E+02
-3.0	0.3895	0.3945	-0.00505	0.122E+01	0.103E+01	0.872E+00	0.737E+00
-10.0	0.3591	0.3569	0.00224	0.898E-01	0.687E-01	0.525E-01	0.401E-01
-30.0	0.3331	0.3256	0.00750	0.831E-02	0.580E-02	0.405E-02	0.282E-02
-100.0	0.2883	0.2945	-0.00620	0.612E-03	0.386E-03	0.244E-03	0.154E-03
-1500.0	0.2375	0.2350	0.00244	0.173E-05	0.872E-06	0.439E-06	0.221E-06

PRH015_4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
 Clay:28.3 Silt:33.7 Organic Carbon:0.09 Bulk Density :1.4100
 Campbells A=-0.224E+00 kPa B= 7.150 R-Square :0.9622

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4667	0.4667	0.00000	0.967E+02	0.967E+02	0.967E+02	0.967E+02
-10.0	0.2801	0.2744	0.00568	0.168E-01	0.990E-02	0.582E-02	0.342E-02
-30.0	0.2368	0.2353	0.00150	0.138E-02	0.694E-03	0.350E-03	0.176E-03
-100.0	0.1797	0.1989	-0.01912	0.884E-04	0.377E-04	0.161E-04	0.684E-05
-500.0	0.1654	0.1588	0.00663	0.225E-05	0.767E-06	0.261E-06	0.888E-07
-1500.0	0.1424	0.1362	0.00623	0.184E-06	0.538E-07	0.157E-07	0.458E-08

PRH015_5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
 Clay:28.3 Silt:33.7 Organic Carbon:0.09 Bulk Density :1.4100
 Campbells A=-0.124E+01 kPa B= 6.922 R-Square :0.9928

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4668	0.4668	0.00000	0.967E+02	0.967E+02	0.967E+02	0.967E+02
-20.0	0.3192	0.3123	0.00692	0.166E+00	0.111E+00	0.744E-01	0.497E-01
-33.0	0.2896	0.2905	-0.00096	0.528E-01	0.329E-01	0.204E-01	0.127E-01
-60.0	0.2642	0.2665	-0.00232	0.134E-01	0.767E-02	0.438E-02	0.250E-02
-100.0	0.2411	0.2475	-0.00643	0.417E-02	0.221E-02	0.117E-02	0.622E-03
-200.0	0.2191	0.2240	-0.00489	0.854E-03	0.410E-03	0.197E-03	0.943E-04
-400.0	0.2011	0.2026	-0.00153	0.175E-03	0.758E-04	0.329E-04	0.143E-04
-700.0	0.1901	0.1869	0.00322	0.485E-04	0.194E-04	0.778E-05	0.311E-05
-1000.0	0.1809	0.1775	0.00338	0.215E-04	0.816E-05	0.310E-05	0.118E-05
-1500.0	0.1707	0.1674	0.00330	0.848E-05	0.304E-05	0.109E-05	0.391E-06

6. Resultados y discusión

Tabla 6.15. Resultados RETFIT horizonte PRH017 (PERFIL V)

PRH017_1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
 Clay:31.6 Silt:32.3 Organic Carbon:0.27 Bulk Density :1.6000
 Campbells A=-0.169E+01 kPa B= 12.000 R-Square :0.8945

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.3923	0.3923	0.00000	0.762E+02	0.762E+02	0.762E+02	0.762E+02
-5.0	0.3352	0.3584	-0.02317	0.726E+01	0.663E+01	0.606E+01	0.553E+01
-10.0	0.3534	0.3383	0.01517	0.162E+01	0.139E+01	0.120E+01	0.104E+01
-40.0	0.3110	0.3014	0.00960	0.802E-01	0.616E-01	0.473E-01	0.363E-01
-200.0	0.2797	0.2635	0.01611	0.245E-02	0.165E-02	0.111E-02	0.743E-03
-1500.0	0.2050	0.2228	-0.01783	0.312E-04	0.177E-04	0.101E-04	0.571E-05

PRH017_2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
 Clay:31.6 Silt:32.3 Organic Carbon:0.27 Bulk Density :1.6000
 Campbells A=-0.109E+01 kPa B= 12.000 R-Square :0.6551

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.3923	0.3923	0.00000	0.762E+02	0.762E+02	0.762E+02	0.762E+02
-5.0	0.3162	0.3456	-0.02946	0.283E+01	0.249E+01	0.219E+01	0.193E+01
-10.0	0.3068	0.3262	-0.01946	0.630E+00	0.524E+00	0.435E+00	0.362E+00
-40.0	0.2831	0.2906	-0.00756	0.312E-01	0.231E-01	0.171E-01	0.127E-01
-200.0	0.3055	0.2542	0.05134	0.955E-03	0.619E-03	0.401E-03	0.260E-03
-1500.0	0.2413	0.2149	0.02644	0.121E-04	0.665E-05	0.364E-05	0.199E-05

PRH017_3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
 Clay:31.6 Silt:32.3 Organic Carbon:0.27 Bulk Density :1.6000
 Campbells A=-0.395E+01 kPa B= 12.000 R-Square :0.9860

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.3923	0.3923	0.00000	0.762E+02	0.762E+02	0.762E+02	0.762E+02
-3.0	0.3751	0.3889	-0.01381	0.608E+02	0.603E+02	0.598E+02	0.593E+02
-10.0	0.3622	0.3631	-0.00094	0.102E+02	0.945E+01	0.875E+01	0.810E+01
-30.0	0.3373	0.3314	0.00597	0.945E+00	0.798E+00	0.674E+00	0.569E+00
-100.0	0.2945	0.2997	-0.00527	0.696E-01	0.531E-01	0.406E-01	0.310E-01
-1500.0	0.2436	0.2392	0.00443	0.197E-03	0.120E-03	0.732E-04	0.446E-04

PRH017_4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
 Clay:31.6 Silt:32.3 Organic Carbon:0.27 Bulk Density :1.6000
 Campbells A=-0.110E+01 kPa B= 7.707 R-Square :0.9647

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.3923	0.3923	0.00000	0.762E+02	0.762E+02	0.762E+02	0.762E+02
-10.0	0.2991	0.2947	0.00445	0.522E+00	0.392E+00	0.295E+00	0.221E+00
-30.0	0.2593	0.2555	0.00375	0.436E-01	0.284E-01	0.185E-01	0.121E-01
-100.0	0.1995	0.2186	-0.01911	0.287E-02	0.160E-02	0.892E-03	0.497E-03
-500.0	0.1828	0.1774	0.00538	0.757E-04	0.342E-04	0.155E-04	0.699E-05
-1500.0	0.1601	0.1538	0.00632	0.632E-05	0.248E-05	0.972E-06	0.381E-06

PRH017_5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
 Clay:31.6 Silt:32.3 Organic Carbon:0.27 Bulk Density :1.6000
 Campbells A=-0.393E+01 kPa B= 7.795 R-Square :0.9933

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.3923	0.3923	0.00000	0.762E+02	0.762E+02	0.762E+02	0.762E+02
-20.0	0.3246	0.3184	0.00617	0.194E+01	0.157E+01	0.128E+01	0.104E+01
-33.0	0.2979	0.2986	-0.00074	0.627E+00	0.477E+00	0.363E+00	0.276E+00
-60.0	0.2748	0.2766	-0.00177	0.163E+00	0.115E+00	0.808E-01	0.570E-01
-100.0	0.2531	0.2590	-0.00590	0.514E-01	0.339E-01	0.224E-01	0.148E-01
-200.0	0.2324	0.2370	-0.00461	0.107E-01	0.649E-02	0.392E-02	0.237E-02
-400.0	0.2155	0.2168	-0.00128	0.225E-02	0.124E-02	0.687E-03	0.380E-03
-700.0	0.2049	0.2018	0.00311	0.636E-03	0.327E-03	0.168E-03	0.866E-04
-1000.0	0.1956	0.1928	0.00278	0.284E-03	0.140E-03	0.687E-04	0.338E-04
-1500.0	0.1858	0.1830	0.00277	0.114E-03	0.532E-04	0.248E-04	0.116E-04

6. Resultados y discusión

Tabla 6.16. Resultados RETFIT horizonte PRH020 (PERFIL VI)

PRH020_1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
 Clay:33.2 Silt:31.8 Organic Carbon:0.24 Bulk Density :1.2100
 Campbells A=-0.594E+00 kPa B= 8.880 R-Square :0.9733

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5408	0.5408	0.00000	0.692E+02	0.692E+02	0.692E+02	0.692E+02
-5.0	0.4083	0.4254	-0.01713	0.604E+00	0.475E+00	0.374E+00	0.294E+00
-10.0	0.4069	0.3935	0.01343	0.129E+00	0.940E-01	0.684E-01	0.498E-01
-40.0	0.3462	0.3366	0.00965	0.591E-02	0.368E-02	0.229E-02	0.143E-02
-200.0	0.2864	0.2808	0.00565	0.165E-03	0.854E-04	0.444E-04	0.230E-04
-1500.0	0.2110	0.2238	-0.01281	0.186E-05	0.769E-06	0.318E-06	0.132E-06

PRH020_2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
 Clay:33.2 Silt:31.8 Organic Carbon:0.24 Bulk Density :1.2100
 Campbells A=-0.111E+00 kPa B= 12.000 R-Square :0.9567

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5405	0.5405	0.00000	0.692E+02	0.692E+02	0.692E+02	0.692E+02
-5.0	0.3869	0.3938	-0.00694	0.184E-01	0.134E-01	0.975E-02	0.710E-02
-10.0	0.3604	0.3717	-0.01132	0.409E-02	0.281E-02	0.193E-02	0.133E-02
-40.0	0.3266	0.3311	-0.00450	0.203E-03	0.124E-03	0.762E-04	0.467E-04
-200.0	0.3146	0.2896	0.02501	0.621E-05	0.333E-05	0.178E-05	0.955E-06
-1500.0	0.2496	0.2448	0.00478	0.789E-07	0.357E-07	0.162E-07	0.733E-08

PRH020_3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
 Clay:33.2 Silt:32.8 Organic Carbon:0.24 Bulk Density :1.2100
 Campbells A=-0.112E+00 kPa B= 11.998 R-Square :0.9908

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5405	0.5405	0.00000	0.692E+02	0.692E+02	0.692E+02	0.692E+02
-3.0	0.4170	0.4112	0.00582	0.567E-01	0.431E-01	0.328E-01	0.250E-01
-10.0	0.3652	0.3719	-0.00677	0.417E-02	0.287E-02	0.198E-02	0.136E-02
-30.0	0.3414	0.3394	0.00204	0.386E-03	0.242E-03	0.152E-03	0.956E-04
-100.0	0.3009	0.3070	-0.00611	0.284E-04	0.161E-04	0.917E-05	0.521E-05
-1500.0	0.2502	0.2450	0.00525	0.804E-07	0.365E-07	0.165E-07	0.749E-08

PRH020_4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
 Clay:33.2 Silt:31.8 Organic Carbon:0.24 Bulk Density :1.2100
 Campbells A=-0.994E-01 kPa B= 8.000 R-Square :0.9660

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5403	0.5403	0.00000	0.692E+02	0.692E+02	0.692E+02	0.692E+02
-10.0	0.3076	0.3039	0.00377	0.220E-02	0.123E-02	0.694E-03	0.391E-03
-30.0	0.2697	0.2649	0.00477	0.185E-03	0.909E-04	0.445E-04	0.218E-04
-100.0	0.2090	0.2279	-0.01886	0.123E-04	0.521E-05	0.220E-05	0.926E-06
-500.0	0.1909	0.1864	0.00459	0.330E-06	0.114E-06	0.393E-07	0.135E-07
-1500.0	0.1688	0.1624	0.00639	0.279E-07	0.838E-08	0.252E-08	0.758E-09

PRH020_5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
 Clay:33.2 Silt:31.8 Organic Carbon:0.24 Bulk Density :1.2100
 Campbells A=-0.105E+01 kPa B= 7.182 R-Square :0.9950

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.5408	0.5408	0.00000	0.692E+02	0.692E+02	0.692E+02	0.692E+02
-20.0	0.3650	0.3588	0.00625	0.839E-01	0.557E-01	0.369E-01	0.245E-01
-33.0	0.3339	0.3346	-0.00070	0.268E-01	0.166E-01	0.103E-01	0.635E-02
-60.0	0.3060	0.3079	-0.00189	0.687E-02	0.391E-02	0.223E-02	0.127E-02
-100.0	0.2806	0.2867	-0.00614	0.214E-02	0.114E-02	0.603E-03	0.320E-03
-200.0	0.2555	0.2604	-0.00487	0.442E-03	0.213E-03	0.102E-03	0.493E-04
-400.0	0.2351	0.2364	-0.00131	0.911E-04	0.398E-04	0.174E-04	0.761E-05
-700.0	0.2219	0.2187	0.00320	0.255E-04	0.103E-04	0.416E-05	0.168E-05
-1000.0	0.2110	0.2081	0.00286	0.113E-04	0.435E-05	0.167E-05	0.644E-06
-1500.0	0.1998	0.1967	0.00314	0.448E-05	0.163E-05	0.593E-06	0.216E-06

6. Resultados y discusión

Tabla 6.17. Resultados RETFIT horizonte PRH021 (PERFIL VI)

PRH021_1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
Clay:36.6 Silt:33.9 Organic Carbon:0.16 Bulk Density :1.6100
Campbells A=-0.453E+01 kPa B= 12.000 R-Square :0.8678

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.3901	0.3901	0.00000	0.623E+02	0.623E+02	0.623E+02	0.623E+02
-5.0	0.3484	0.3830	-0.03458	0.386E+02	0.379E+02	0.372E+02	0.365E+02
-10.0	0.3709	0.3652	0.00564	0.112E+02	0.105E+02	0.983E+01	0.921E+01
-40.0	0.3313	0.3254	0.00593	0.557E+00	0.464E+00	0.387E+00	0.323E+00
-200.0	0.3042	0.2846	0.01965	0.170E-01	0.124E-01	0.906E-02	0.661E-02
-1500.0	0.2252	0.2406	-0.01532	0.216E-03	0.133E-03	0.823E-04	0.507E-04

PRH021_2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
Clay:36.6 Silt:33.9 Organic Carbon:0.16 Bulk Density :1.6100
Campbells A=-0.285E+01 kPa B= 12.000 R-Square :0.5592

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.3901	0.3901	0.00000	0.623E+02	0.623E+02	0.623E+02	0.623E+02
-5.0	0.3342	0.3722	-0.03807	0.184E+02	0.175E+02	0.167E+02	0.160E+02
-10.0	0.3276	0.3514	-0.02378	0.410E+01	0.369E+01	0.332E+01	0.299E+01
-40.0	0.3079	0.3130	-0.00515	0.203E+00	0.163E+00	0.131E+00	0.105E+00
-200.0	0.3326	0.2737	0.05882	0.621E-02	0.436E-02	0.306E-02	0.215E-02
-1500.0	0.2662	0.2314	0.03474	0.790E-04	0.468E-04	0.278E-04	0.165E-04

PRH021_3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
Clay:36.6 Silt:33.9 Organic Carbon:0.16 Bulk Density :1.6100
Campbells A=-0.489E+01 kPa B= 12.000 R-Square :0.9968

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.3901	0.3901	0.00000	0.623E+02	0.623E+02	0.623E+02	0.623E+02
-3.0	0.3882	0.3879	0.00025	0.537E+02	0.534E+02	0.531E+02	0.528E+02
-10.0	0.3697	0.3676	0.00209	0.132E+02	0.125E+02	0.117E+02	0.111E+02
-30.0	0.3476	0.3354	0.01219	0.122E+01	0.105E+01	0.905E+00	0.778E+00
-100.0	0.3123	0.3034	0.00893	0.901E-01	0.701E-01	0.545E-01	0.424E-01
-1500.0	0.2626	0.2421	0.02051	0.255E-03	0.158E-03	0.982E-04	0.610E-04

PRH021_4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
Clay:36.6 Silt:33.9 Organic Carbon:0.16 Bulk Density :1.6100
Campbells A=-0.188E+01 kPa B= 8.685 R-Square :0.9686

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.3901	0.3901	0.00000	0.623E+02	0.623E+02	0.623E+02	0.623E+02
-10.0	0.3242	0.3218	0.00234	0.150E+01	0.123E+01	0.102E+01	0.840E+00
-30.0	0.2904	0.2836	0.00678	0.129E+00	0.939E-01	0.682E-01	0.496E-01
-100.0	0.2291	0.2469	-0.01778	0.881E-02	0.557E-02	0.353E-02	0.223E-02
-500.0	0.2077	0.2051	0.00256	0.243E-03	0.128E-03	0.672E-04	0.353E-04
-1500.0	0.1873	0.1807	0.00656	0.210E-04	0.972E-05	0.450E-05	0.209E-05

PRH021_5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
Clay:36.6 Silt:33.9 Organic Carbon:0.16 Bulk Density :1.6100
Campbells A=-0.489E+01 kPa B= 9.265 R-Square :0.9931

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.3901	0.3901	0.00000	0.623E+02	0.623E+02	0.623E+02	0.623E+02
-20.0	0.3514	0.3351	0.01625	0.275E+01	0.236E+01	0.203E+01	0.174E+01
-33.0	0.3248	0.3175	0.00736	0.906E+00	0.738E+00	0.600E+00	0.488E+00
-60.0	0.3009	0.2977	0.00328	0.241E+00	0.184E+00	0.140E+00	0.107E+00
-100.0	0.2788	0.2817	-0.00293	0.777E-01	0.561E-01	0.405E-01	0.292E-01
-200.0	0.2570	0.2614	-0.00440	0.167E-01	0.112E-01	0.751E-02	0.503E-02
-400.0	0.2397	0.2425	-0.00279	0.360E-02	0.224E-02	0.139E-02	0.865E-03
-700.0	0.2281	0.2283	-0.00020	0.104E-02	0.610E-03	0.357E-03	0.209E-03
-1000.0	0.2178	0.2197	-0.00189	0.473E-03	0.266E-03	0.150E-03	0.844E-04
-1500.0	0.2082	0.2103	-0.00204	0.192E-03	0.104E-03	0.559E-04	0.301E-04

6. Resultados y discusión

Tabla 6.18. Resultados RETFIT horizonte PRH023 (PERFIL VII)

PRH023_1.OUT MODELO DE RETENCIÓN (1) THOMASSON & CARTER TOPSOILS
 Clay:28.2 Silt:24.4 Organic Carbon:0.27 Bulk Density :1.4600
 Campbells A=-0.616E+00 kPa B= 9.788 R-Square :0.9556

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4455	0.4455	0.00000	0.838E+02	0.838E+02	0.838E+02	0.838E+02
-5.0	0.3423	0.3597	-0.01736	0.830E+00	0.670E+00	0.541E+00	0.437E+00
-10.0	0.3492	0.3351	0.01411	0.180E+00	0.135E+00	0.102E+00	0.766E-01
-40.0	0.2982	0.2908	0.00738	0.847E-02	0.553E-02	0.361E-02	0.236E-02
-200.0	0.2551	0.2467	0.00832	0.244E-03	0.135E-03	0.748E-04	0.415E-04
-1500.0	0.1875	0.2008	-0.01337	0.287E-05	0.130E-05	0.584E-06	0.263E-06

PRH023_2.OUT MODELO DE RETENCIÓN (2) THOMASSON & CARTER SUBSOILS
 Clay:28.2 Silt:24.4 Organic Carbon:0.27 Bulk Density :1.4600
 Campbells A=-0.135E+00 kPa B= 12.000 R-Square :0.7679

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4454	0.4454	0.00000	0.838E+02	0.838E+02	0.838E+02	0.838E+02
-5.0	0.3143	0.3297	-0.01548	0.339E-01	0.251E-01	0.186E-01	0.137E-01
-10.0	0.2942	0.3112	-0.01707	0.754E-02	0.527E-02	0.368E-02	0.257E-02
-40.0	0.2648	0.2773	-0.01247	0.374E-03	0.233E-03	0.145E-03	0.903E-04
-200.0	0.2848	0.2425	0.04236	0.114E-04	0.623E-05	0.339E-05	0.185E-05
-1500.0	0.2226	0.2050	0.01763	0.145E-06	0.669E-07	0.308E-07	0.142E-07

PRH023_3.OUT MODELO DE RETENCIÓN (3) HUTSON
 Clay:28.2 Silt:24.4 Organic Carbon:0.27 Bulk Density :1.4600
 Campbells A=-0.463E+00 kPa B= 10.163 R-Square :0.9841

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4455	0.4455	0.00000	0.838E+02	0.838E+02	0.838E+02	0.838E+02
-3.0	0.3649	0.3707	-0.00580	0.138E+01	0.115E+01	0.957E+00	0.797E+00
-10.0	0.3365	0.3293	0.00726	0.982E-01	0.726E-01	0.536E-01	0.396E-01
-30.0	0.3034	0.2955	0.00791	0.879E-02	0.583E-02	0.387E-02	0.257E-02
-100.0	0.2516	0.2625	-0.01094	0.624E-03	0.368E-03	0.217E-03	0.128E-03
-1500.0	0.2025	0.2011	0.00143	0.163E-05	0.735E-06	0.332E-06	0.150E-06

PRH023_4.OUT MODELO DE RETENCIÓN (4) HUTSON
 Clay:28.2 Silt:24.4 Organic Carbon:0.27 Bulk Density :1.4600
 Campbells A=-0.310E+00 kPa B= 7.133 R-Square :0.9621

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4454	0.4454	0.00000	0.838E+02	0.838E+02	0.838E+02	0.838E+02
-10.0	0.2795	0.2738	0.00570	0.306E-01	0.188E-01	0.115E-01	0.710E-02
-30.0	0.2361	0.2347	0.00143	0.250E-02	0.132E-02	0.693E-03	0.365E-03
-100.0	0.1792	0.1983	-0.01910	0.160E-03	0.713E-04	0.317E-04	0.141E-04
-500.0	0.1649	0.1582	0.00667	0.408E-05	0.145E-05	0.515E-06	0.183E-06
-1500.0	0.1419	0.1356	0.00624	0.333E-06	0.101E-06	0.309E-07	0.941E-08

PRH023_5.OUT MODELO DE RETENCIÓN (5) RAWLS & BRAKENSIEK
 Clay:28.2 Silt:24.4 Organic Carbon:0.27 Bulk Density :1.4600
 Campbells A=-0.880E+00 kPa B= 7.565 R-Square :0.9922

Potential (kPa)	Theta	Best-fit theta	Difference	Conductivity (mm/day)			
				p=0	p=1	p=2	p=3
0.0	0.4455	0.4455	0.00000	0.838E+02	0.838E+02	0.838E+02	0.838E+02
-20.0	0.3011	0.2948	0.00633	0.711E-01	0.470E-01	0.311E-01	0.206E-01
-33.0	0.2747	0.2759	-0.00118	0.229E-01	0.142E-01	0.878E-02	0.544E-02
-60.0	0.2534	0.2550	-0.00159	0.591E-02	0.338E-02	0.194E-02	0.111E-02
-100.0	0.2323	0.2383	-0.00604	0.186E-02	0.994E-03	0.532E-03	0.284E-03
-200.0	0.2130	0.2174	-0.00443	0.387E-03	0.189E-03	0.921E-04	0.450E-04
-400.0	0.1968	0.1984	-0.00161	0.805E-04	0.359E-04	0.160E-04	0.711E-05
-700.0	0.1875	0.1843	0.00328	0.227E-04	0.938E-05	0.388E-05	0.160E-05
-1000.0	0.1792	0.1758	0.00339	0.101E-04	0.399E-05	0.157E-05	0.621E-06
-1500.0	0.1689	0.1666	0.00227	0.404E-05	0.151E-05	0.565E-06	0.211E-06

6. Resultados y discusión

Las curvas de retención experimentales se comparan con los valores obtenidos con cada modelo de retención para seleccionar el modelo que mejor se ajusta (figuras 6.1-6.32). Por otra parte, a partir de los valores experimentales se han calculado los parámetros de Campbell con el programa RETFIT obteniéndose las ecuaciones de Campbell para cada horizonte.

En general, las curvas de retención se representan con el contenido de humedad frente al potencial matricial, sin embargo los parámetros de Campbell representan la fracción de humedad (θ/θ_s) frente al potencial matricial, por ello se han representado las curvas de retención de las dos formas. En ambos casos las curvas se ajustan a una función potencial del tipo $y=ax^b$ que corresponde al primer tramo de la curva de humedad descrita en el capítulo 4.

CURVAS DE RETENCIÓN HORIZONTES PERFIL I

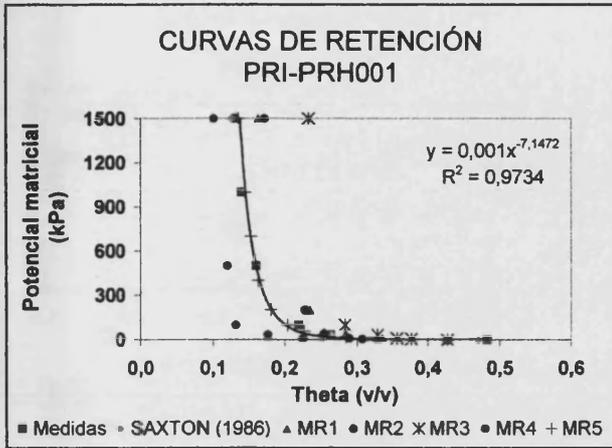


Figura 6.1

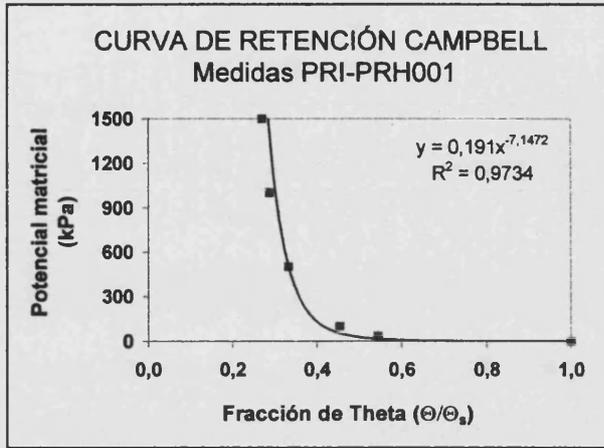


Figura 6.2

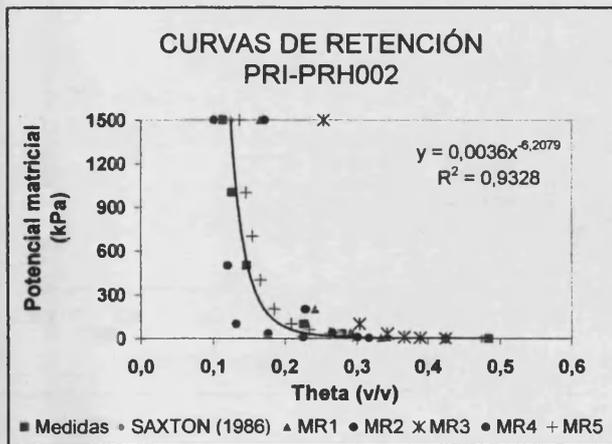


Figura 6.3

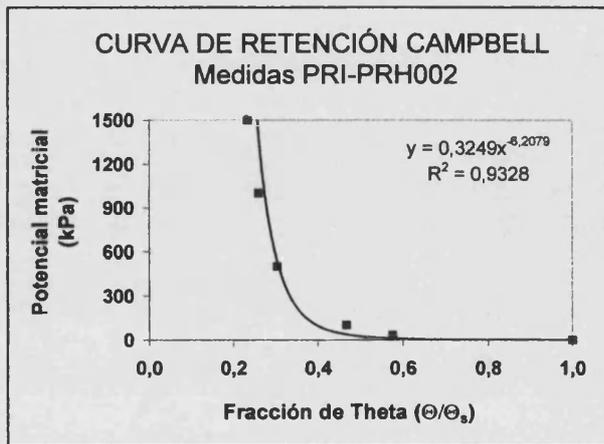


Figura 6.4

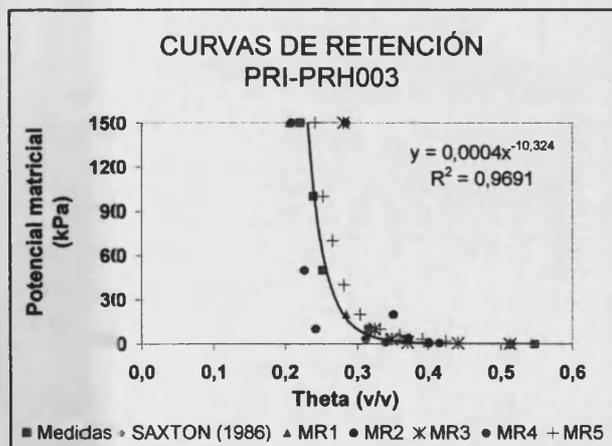


Figura 6.5

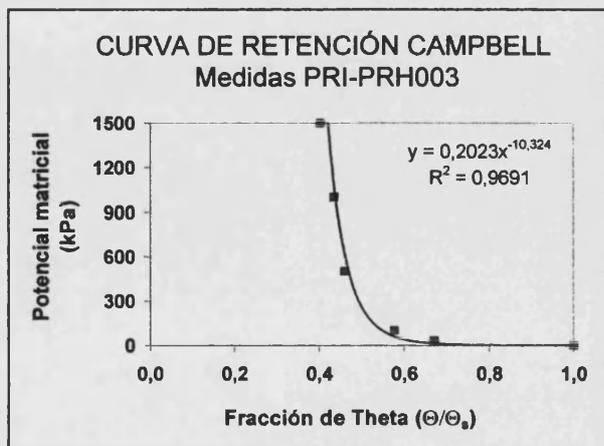


Figura 6.6

6. Resultados y discusión

CURVAS DE RETENCIÓN HORIZONTES PERFIL II

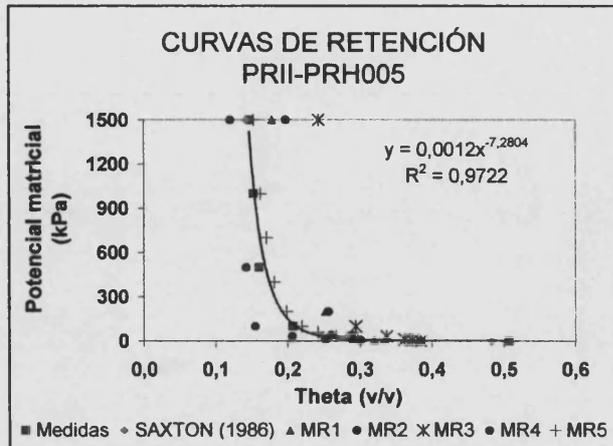


Figura 6.7

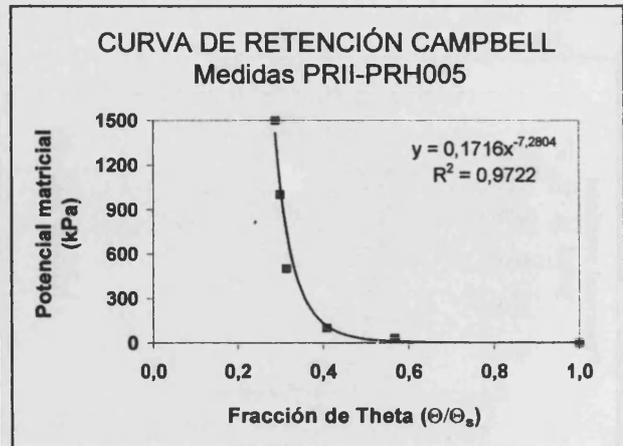


Figura 6.8

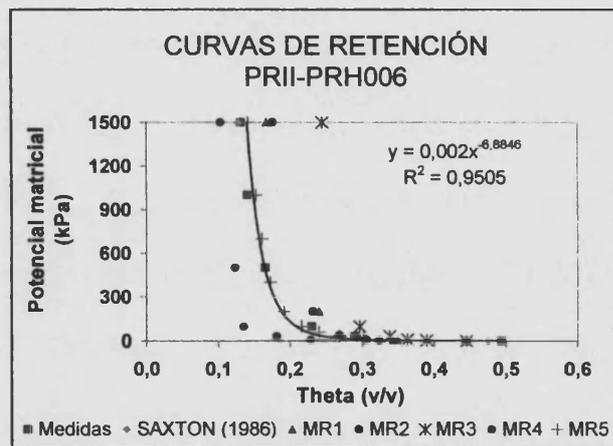


Figura 6.9

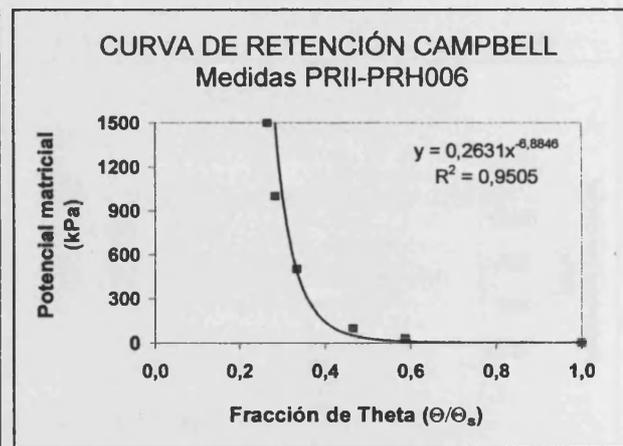


Figura 6.10

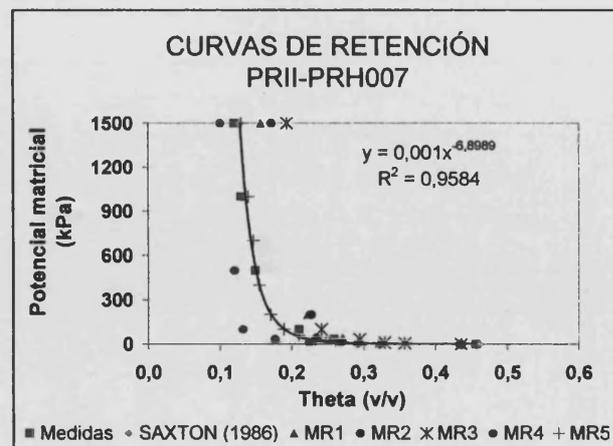


Figura 6.11

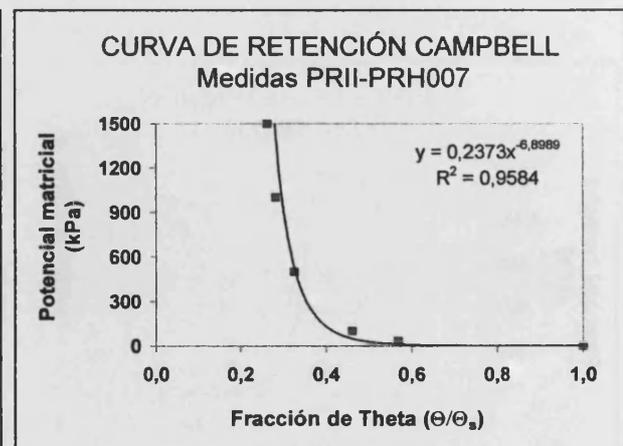


Figura 6.12

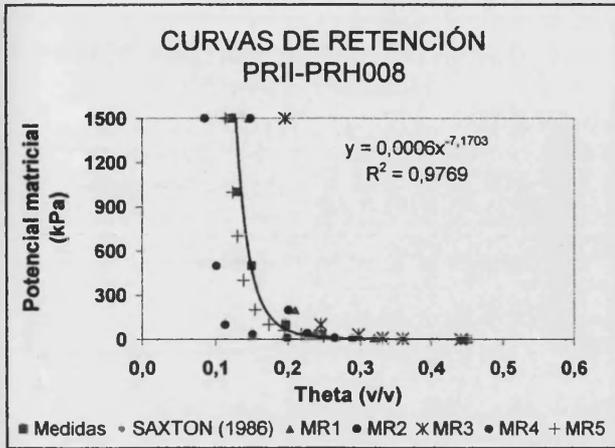


Figura 6.13

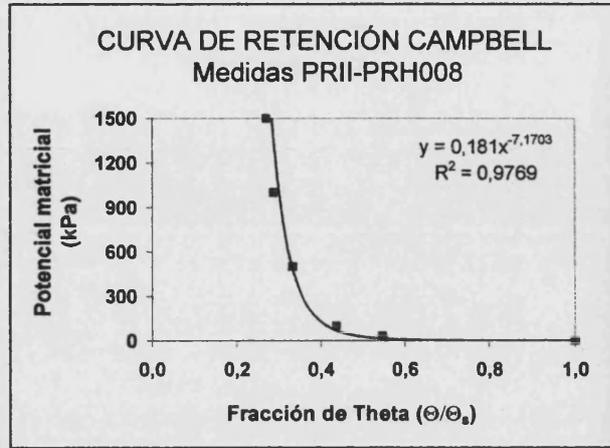


Figura 6.14

6. Resultados y discusión

CURVAS DE RETENCIÓN HORIZONTES PERFIL III

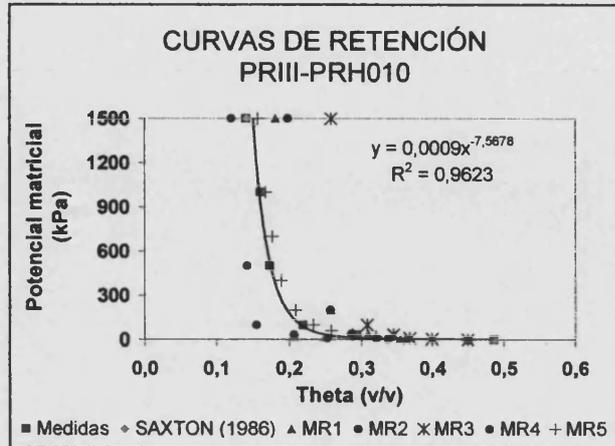


Figura 6.15

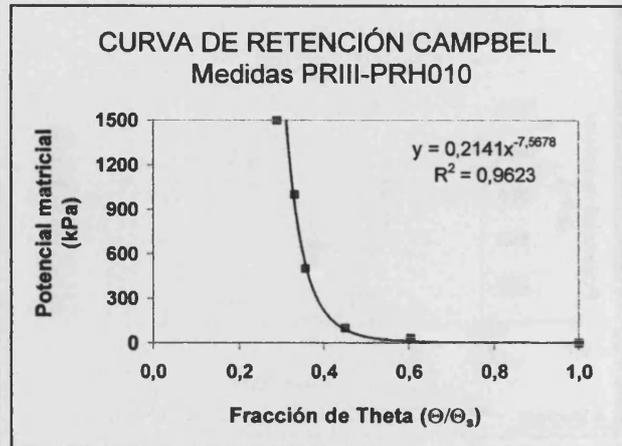


Figura 6.16

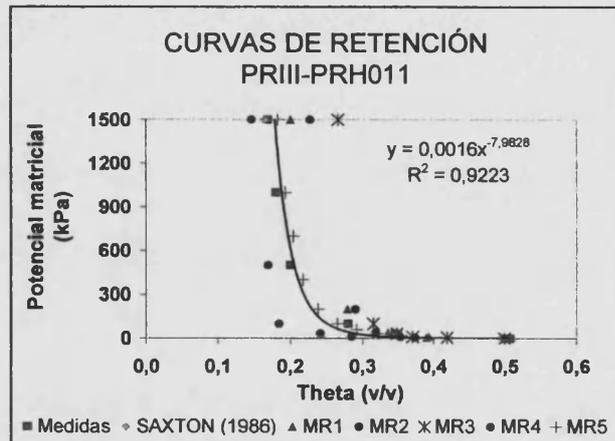


Figura 6.17

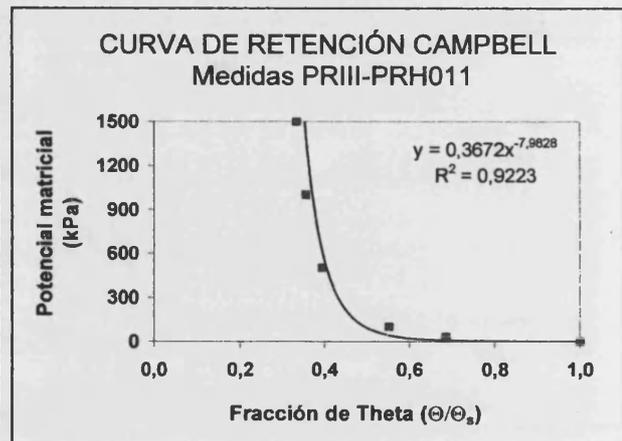


Figura 6.18

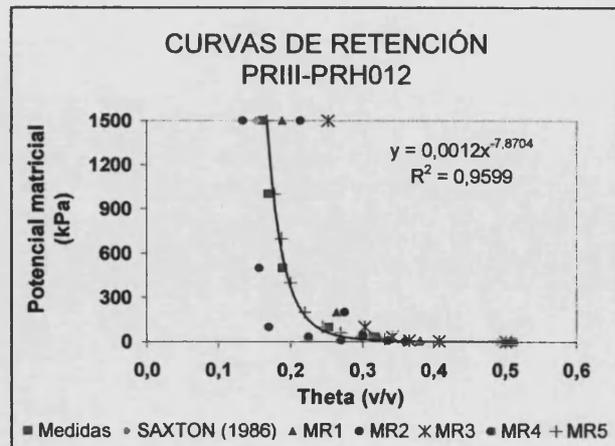


Figura 6.19

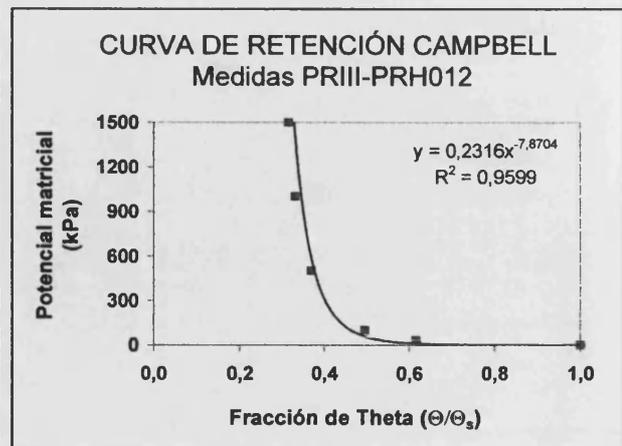


Figura 6.20

CURVAS DE RETENCIÓN HORIZONTES PERFIL IV

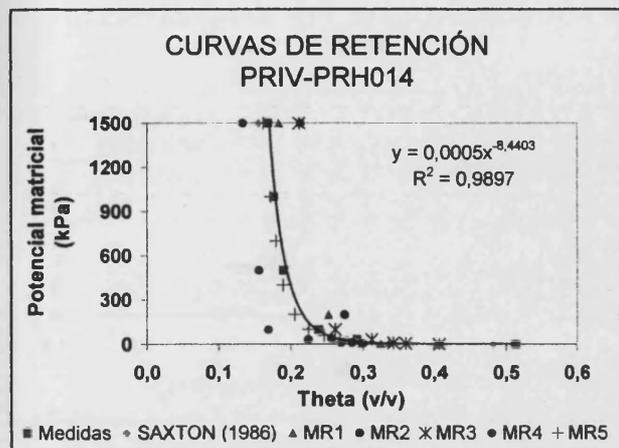


Figura 6.21

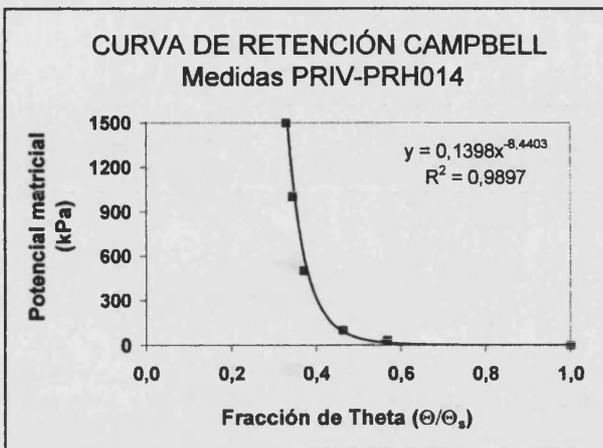


Figura 6.22

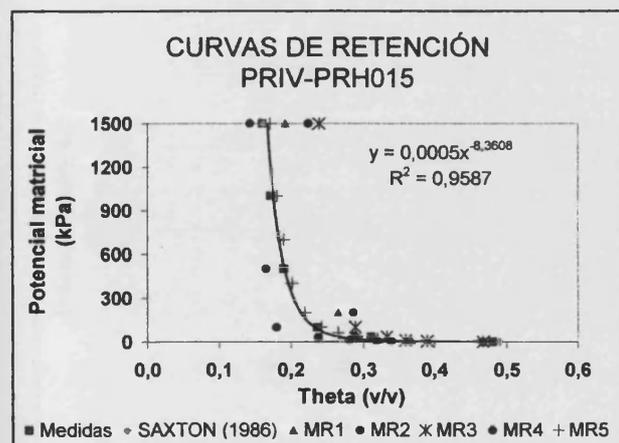


Figura 6.23

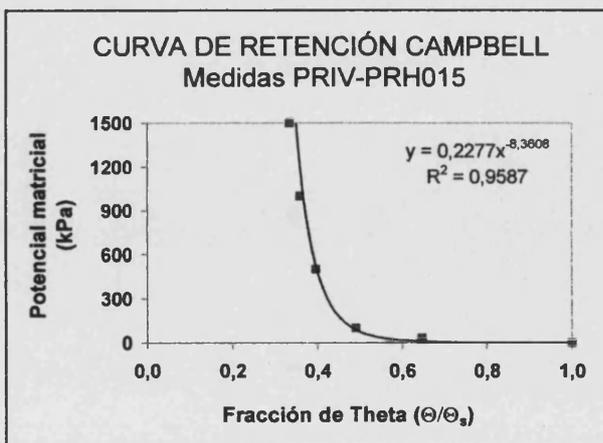


Figura 6.24

6. Resultados y discusión

CURVAS DE RETENCIÓN HORIZONTES PERFIL V

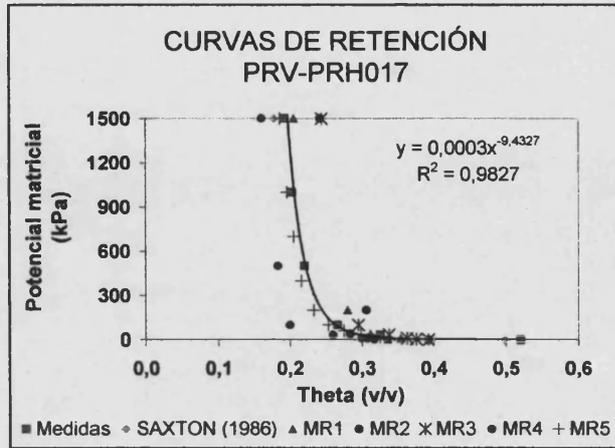


Figura 6.25

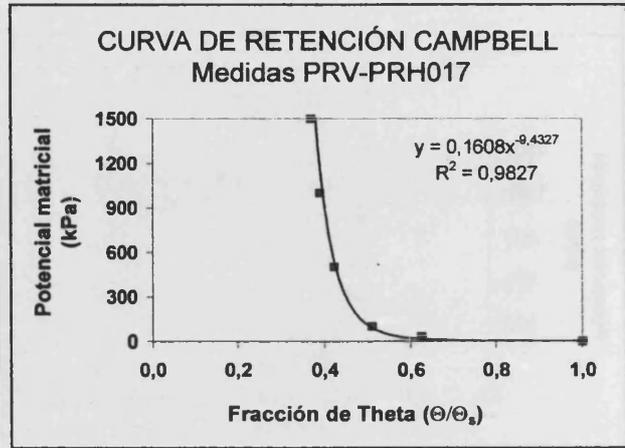


Figura 6.26

CURVAS DE RETENCIÓN HORIZONTES PERFIL VI

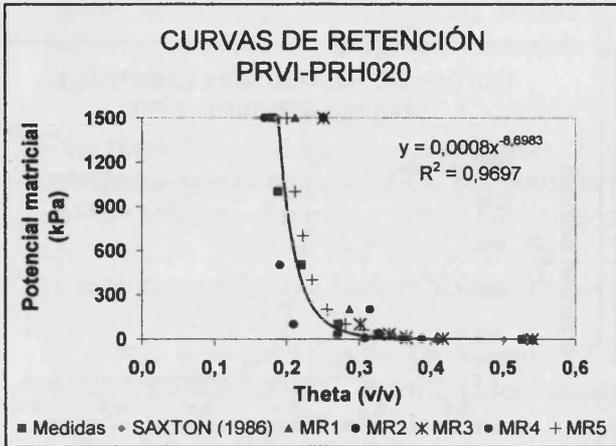


Figura 6.27

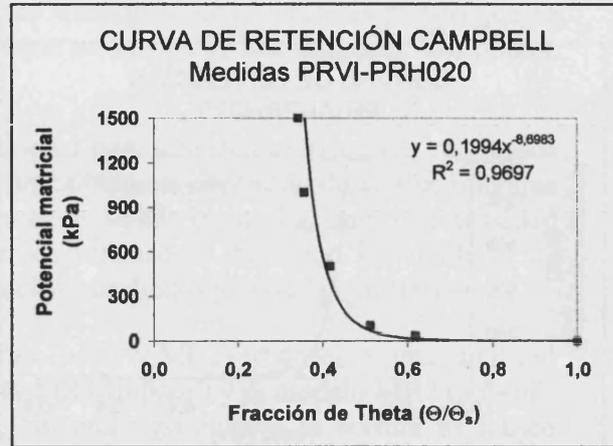


Figura 6.28

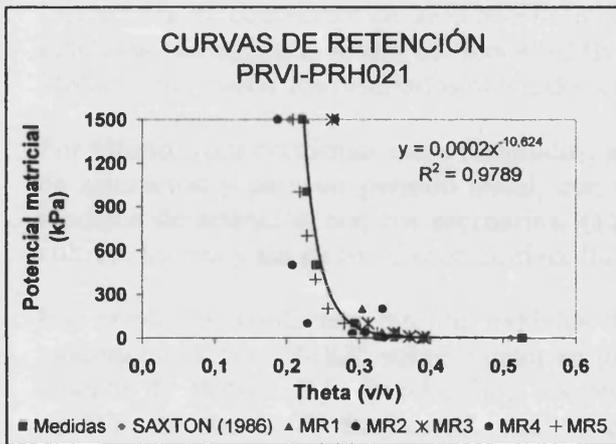


Figura 6.29

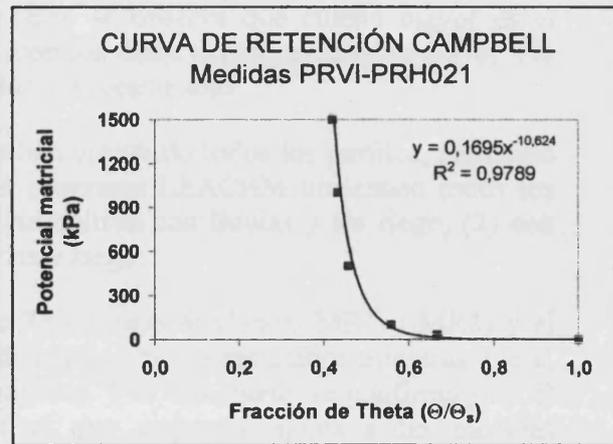


Figura 6.30

CURVAS DE RETENCIÓN HORIZONTES PERFIL VII

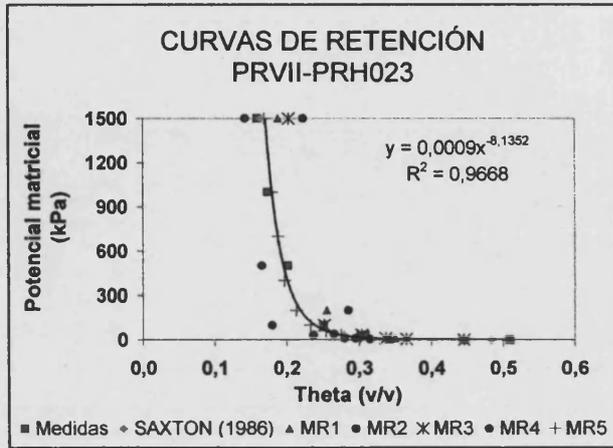


Figura 6.31

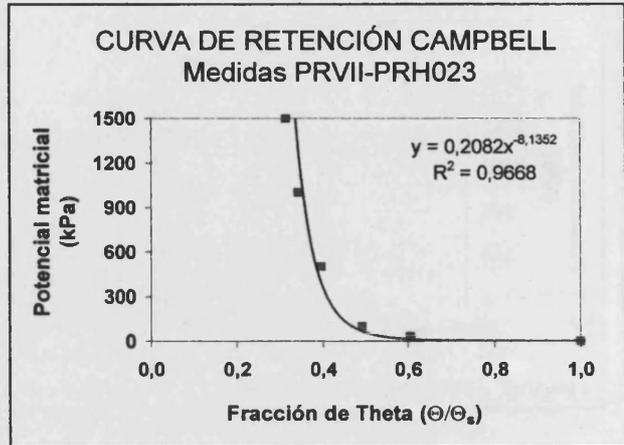


Figura 6.32

Se observa que el modelo de retención que mejor se ajusta a las medidas del laboratorio es el modelo de retención de Rawls & Brakensiek (MR5). Este modelo permite el cálculo de la humedad para numerosos potenciales matriciales definiendo con mucha precisión las curvas de humedad. El modelo de Saxton ofrece unos resultados similares puesto que se basa en el modelo de Rawls & Brakensiek, aunque solamente se han calculado tres puntos de la curva de retención.

Con respecto a los modelos de Hutson se observa una subestimación en los resultados calculados con el modelo MR4, que considera únicamente el contenido de arcilla, mientras que si se utiliza el modelo MR3, que considera el contenido de arcilla, limo y la densidad aparente, se produce una sobreestimación de los resultados. Por tanto los modelos de Hutson no se ajustan a las condiciones de los suelos estudiados y no deben utilizarse.

En cuanto a los modelos de Thomasson & Carter (MR1 y MR2) se observa una similitud en los resultados obtenidos utilizando el modelo MR1 (topsoil) y el modelo MR2 (subsoil) cuando los horizontes son de textura franca, sin embargo cuando la textura es franco arcillosa se observa que la curva obtenida con el modelo MR1 presenta una menor retención de humedad para los mismos potenciales que la obtenida con el modelo MR2. Esta diferencia en las curvas obtenidas por cada modelo se incrementa conforme incrementa el contenido de arcilla. Por otra parte se observa que cuanto mayor es el contenido de arcilla el ajuste del modelo MR1 con los datos experimentales es mayor. No obstante en general los resultados obtenidos están sobreestimadas.

Por último, para confirmar estos resultados, se han ejecutado todos los perfiles, partiendo de saturación y para un periodo anual, con el programa LEACHM utilizando todos los modelos de retención con los escenarios: (1) sin cultivo con lluvias y sin riego, (2) con cultivo, lluvias y sin riego, (3) con cultivo, lluvias y riego.

Los resultados confirman que los modelos de Thomasson & Carter (MR1 y MR2) y el modelo de Hutson (MR3) sobreestiman en todos los casos los resultados mientras que el modelo de Hutson (MR4) subestima los resultados. Por otra parte se confirma que el modelo de Rawls & Brakensiek (MR5) es el que mejor se ajusta a las medidas experimentales.

Si se analiza el comportamiento del suelo ejecutando el programa LEACHM con el modelo de retención MR5 sin tener en cuenta las entradas y salidas de agua y partiendo de la condición de saturación se observa la homogeneidad o heterogeneidad de los horizontes de los perfiles. El perfil PRI presenta un comportamiento heterogéneo de los horizontes ya que tiene un contenido de arcilla menor en los horizontes superiores y por tanto una menor retención de humedad, mientras que el horizonte inferior presenta un contenido mayor de arcilla y por tanto una mayor retención de agua disminuyendo el drenaje en profundidad. El perfil PRII muestra un comportamiento homogéneo debido a que el contenido de arcilla y por tanto la retención de agua es similar en todos los horizontes de manera que el movimiento de agua se ve afectado directamente por la distribución de la raíces. Los perfiles PRIII y PRIV presentan un horizonte superior con un contenido algo menor de arcilla que el resto de horizontes, por tanto el contenido de agua se incrementa hacia el interior del perfil. El perfil PRV presenta un único horizonte con un elevado contenido en

6. Resultados y discusión

arcilla y por tanto una gran capacidad de retención de agua, además este perfil presenta una capa freática próxima a la superficie y un drenaje insuficiente. El perfil PRVI presenta un incremento del contenido de arcilla en el horizonte inferior con una gran capacidad de retención de agua que dificulta el drenaje y por último el perfil PRVII es muy homogéneo en el contenido de arcilla. Este comportamiento del suelo se confirma en las curvas de retención de Campbell que relaciona la fracción de theta con el potencial matricial. En estas curvas se puede apreciar como los horizontes PRH003 (perfil PRI), PRH011 (perfil PRI) y PRH021 (perfil PRVI) son los que mayor capacidad de retención de agua tienen y por tanto una microporosidad elevada (≈ 0.7) que dificulta el drenaje permitiendo la acumulación de sales en la parte inferior de perfil.

Es importante tener en cuenta que la curva de retención se ve afectada por otras características físicas del suelo como es la estructura (Crawford et al., 1995) y la heterogeneidad de los poros (Ferrand & Celia, 1992) lo que explicaría las diferencias observadas entre la curva experimental y la curva estimada con el modelo de retención.

6.1.1.2. Parámetros calibrados

Considerando los parámetros de la tabla 6.1 se han ejecutado los archivos de entrada optimizando estos parámetros para cada perfil.

En todos los perfiles se ha seleccionado el modelo de flujo de Richards y el modelo de retención de Rawls & Brakensiek (MR5). Los intervalos de tiempo para los cálculos hidráulicos diarios se han fijado en 0.05 y los intervalos de tiempo para el cálculo químico se han fijado en 4. En cuanto al número de nodos se ha fijado en 20 y el parámetro de interacción con los poros se ha fijado en 0. La pendiente es inexistente debido al nivelado de los campos para el riego. Por tanto el número de curva no influye en los resultados. En cuanto a los parámetros relativos a los cultivos se han fijado los valores correspondientes al cultivo de cítricos: Potencial hidráulico mínimo de la raíz (-2500), factor de incremento de la transpiración (1.1) y resistencia radicular (1.0).

El factor de contracción de la profundidad de las raíces no se utiliza ya que el cultivo de cítricos es perenne y la distribución de raíces es constante. El resto de parámetros se han optimizado para cada perfil y se muestran en la tabla 6.19.

La tabla 6.19 Parámetros calibrados

PERFIL	LIMITE INFERIOR	COBERTURA	FACTOR DE CULTIVO	DISPERSIVIDAD (mm)
PRI	Drenaje libre	0.8	0.65	37.5
PRII	Drenaje libre	0.8	0.65	47.5
PRIII	Drenaje libre	0.8	0.60	45

Cont. Tabla 6.19

PERFIL	LIMITE INFERIOR	COBERTURA	FACTOR DE CULTIVO	DISPERSIVIDAD (mm)
PRIV	Drenaje libre	0.8	0.60	35
PRV	Freática fluctuante	0.8	0.60	40
PRVI	Drenaje libre	0.8	0.60	40
PRVII	Drenaje libre	0.8	0.50	40

La dispersividad se ha obtenido basándose en los valores estimados por Perfect et al. (2002) ajustándolos posteriormente al rango de valores admitido por el LEACHM dependiente de la amplitud de los nodos. Por ello, en los perfiles PRV, PRVI y PRVII aunque la dispersividad es mayor a la utilizada en el LEACHM, ya que presentan texturas más arcillosas, se ha tomado el valor máximo admitido ($2n$) como valor de dispersividad. En el resto de los perfiles el valor de dispersividad corresponde a los valores estimados por Perfect et al. (2002).

6.1.2. Validación

6.1.2.1. Calibración de la TDR

Las figuras 6.33-6.34 muestran la calibración de la TDR llevada a cabo con las columnas experimentales.

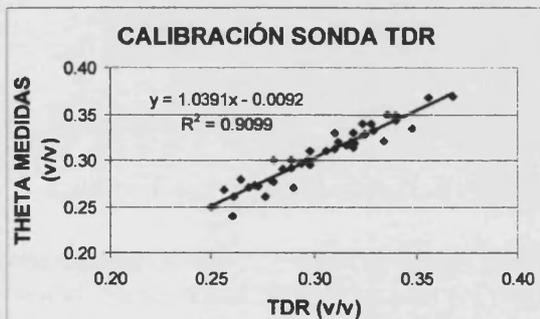


Fig. 6.33

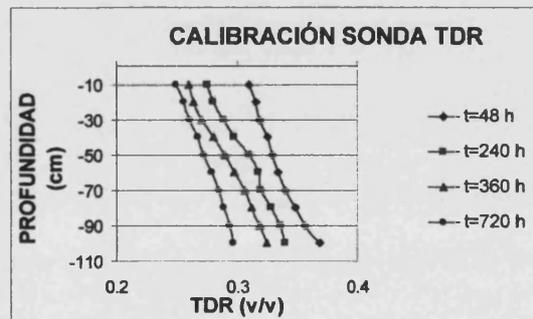


Fig. 6.34

La columna medida a las 48 h tras saturación muestra un contenido de humedad cercano a capacidad de campo ($\theta \approx 0.31$) en la parte superior del perfil que se va incrementando hacia la parte inferior ($\theta \approx 0.37$). En las siguientes columnas ($t=240$ h, $t=360$ h y $t=720$ h) se observa una situación similar en la que se observa un menor contenido de humedad en la parte superior que se incrementa en la zona inferior de la columna, sin embargo esta variación de la humedad entre la zona superior e inferior va disminuyendo conforme se incrementa el tiempo de manera que en la última columna ($t=720$) el perfil se muestra más homogéneo. En cuanto al ajuste de los datos se observa una elevada correlación lineal ($R^2=0.9099$) entre los valores medidos con TDR y los valores medidos por el método gravimétrico. Por otra parte se observa una mayor dispersión entre las medidas de TDR y

6. Resultados y discusión

gravimétricas en valores inferiores de humedad de 0.30 esto puede ser debido a que en general las técnicas TDR están enfocadas a la detección de agua libre.

Un aspecto generalmente ignorado en la aplicación de esta técnica es la posible existencia de agua fuertemente ligada o adsorbida al medio mineral, cuyas propiedades dieléctricas difieren considerablemente de las del agua libre. Este problema adquiere particular importancia en suelos con textura fina y en clima áridos, donde el agua ligada constituye un porcentaje significativo del total disponible. En estudios realizados en suelos agrícolas y suelos arenosos se concluyó que para los suelos arenosos el estado energético del agua contenida en la arena varía acusadamente en función del contenido de agua, de manera que al desecar la muestra solo sobrevive el agua fuertemente ligada mientras que en suelos agrícolas con una composición arcillosa el agua ligada muestra un comportamiento dieléctrico uniforme (Fabregat-Santiago et al., 1999). Esto es importante a tener en cuenta ya que en suelos muy arcillosos la sonda TDR subestimaría el contenido de humedad. En nuestro caso los perfiles muestran una textura menos arcillosa que la presentada en el estudio citado.

Otros factores que permiten explicar la diferencias observadas entre los valores obtenidos con la sonda TDR y la medidas gravimétricas son: El volumen del suelo, la geometría y la orientación de la sonda y la conductividad eléctrica del suelo (Zegelin et al., 1992). En la calibración de la sonda se han tenido en cuenta todos estos factores minimizando su influencia (ver capítulo 4).

6.1.2.2. *Theta*

Las figuras 6.35, 6.40, 6.46, 6.52, 6.57, 6.61 y 6.66 representan la distribución de la humedad en profundidad de las simulaciones obtenidas con en el LEACHM frente a las obtenidas en la monitorización con la TDR.

Las figuras 6.36-39, 6.41-45, 6.47-51, 6.53-56, 6.58-60, 6.62-65 y 6.67-69 representan los valores obtenidos por el modelo LEACHM para las fechas de validación comparados con los valores medidos en el campo y el ajuste correspondiente.

Las tablas 6.20-26 representan los valores obtenidos para los índices estadísticos en cada perfil.

RESULTADOS DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADOS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (THETA PRI)

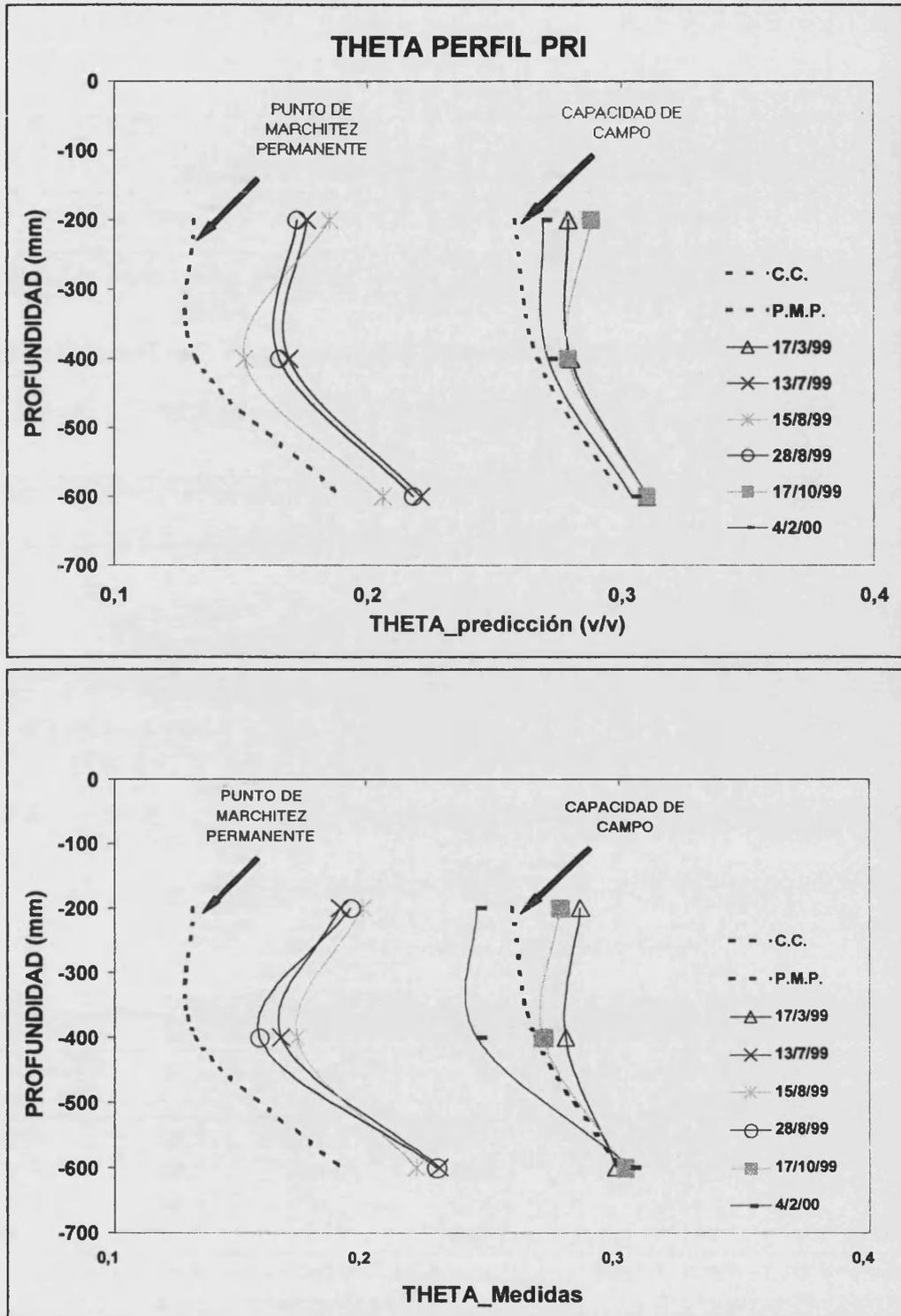


Figura 6.35

6. Resultados y discusión

VALIDACIÓN DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (THETA PRI)

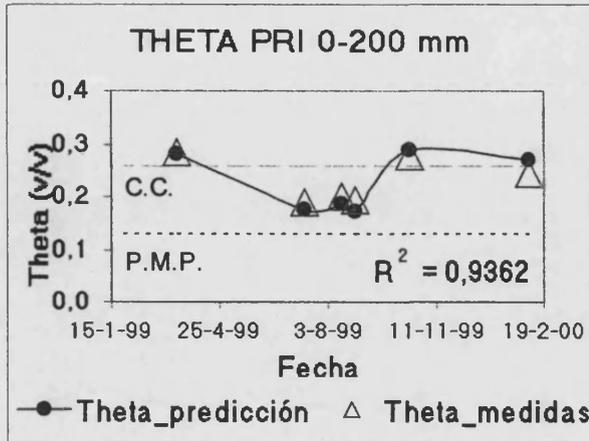


Figura 6.36

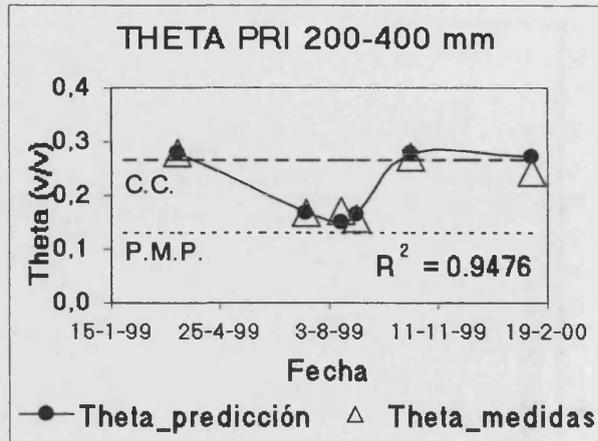


Figura 6.37

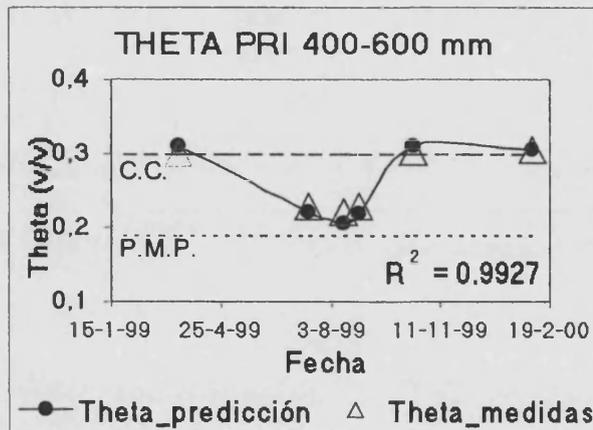


Figura 6.38

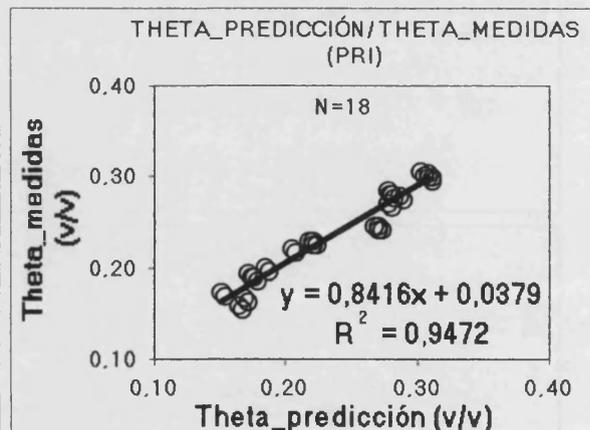


Figura 6.39

Tabla 6.20

INDICES ESTADÍSTICOS PRI				
INDICES	RMSE %	CD	EF	CRM
VALORES ÓPTIMOS	0	1	1	0
0-200 mm	7,17	0,59	0,82	0,01
200-400 mm	6,97	0,76	0,91	-0,02
400-600 mm	3,59	0,67	0,94	0,01
Media del Perfil	5,25	0,81	0,94	0,00
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

RESULTADOS DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADOS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (THETA PRII)

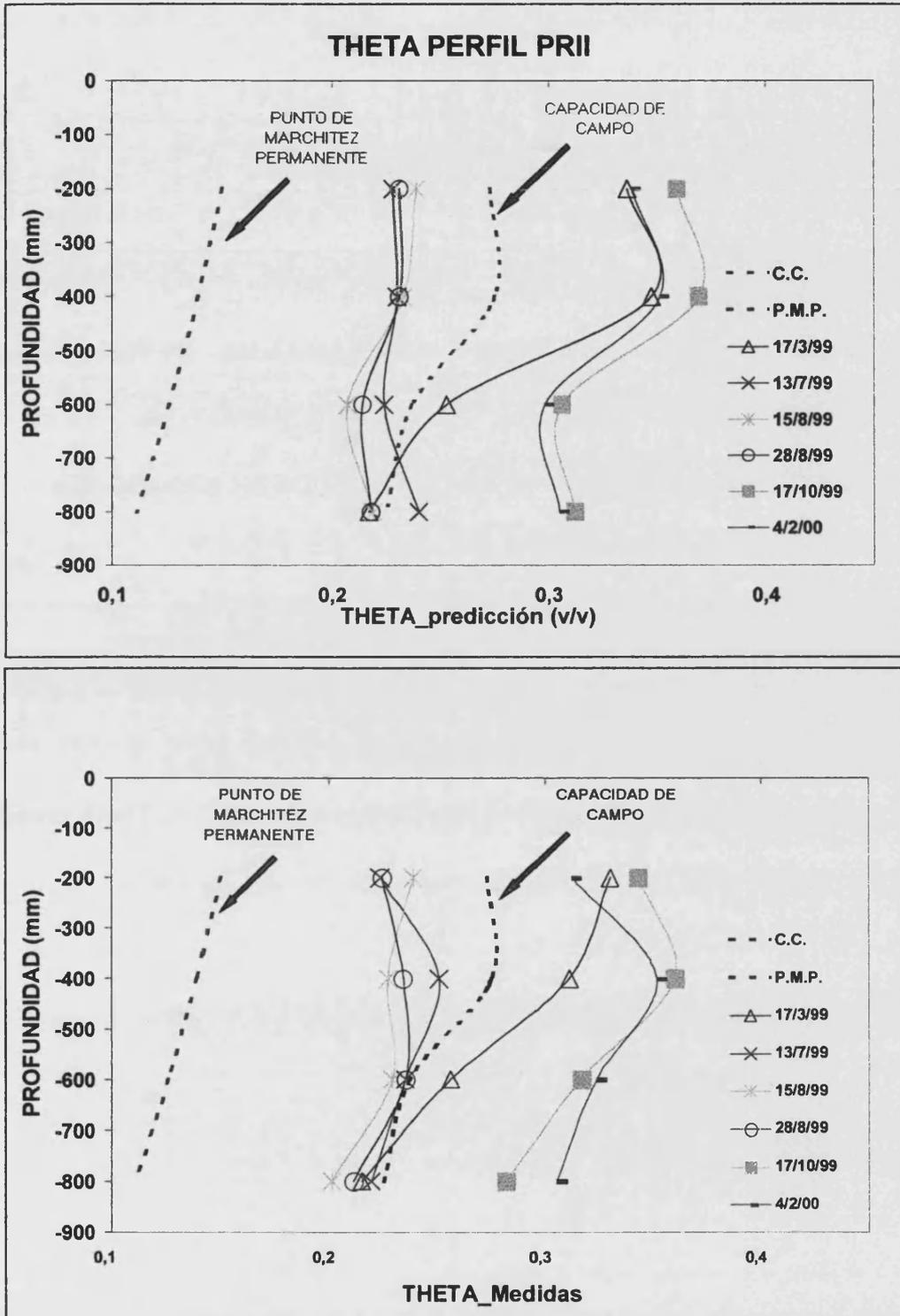


Figura 6.40

6. Resultados y discusión

VALIDACIÓN DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (THETA PRII)

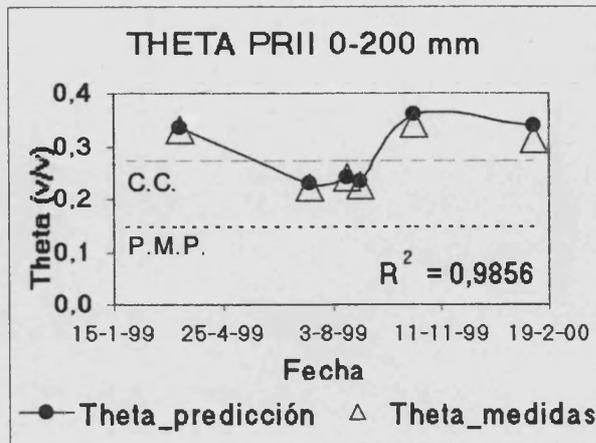


Figura 6.41

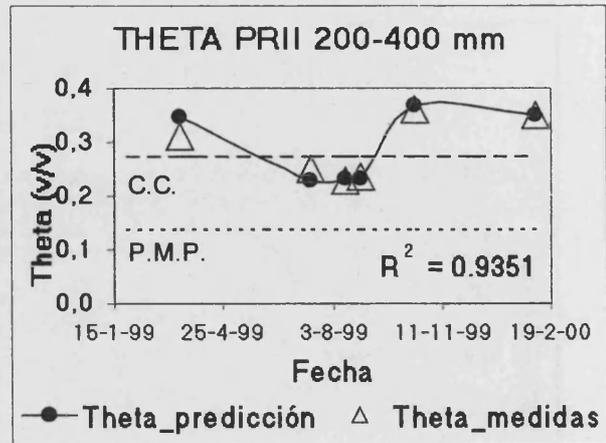


Figura 6.42

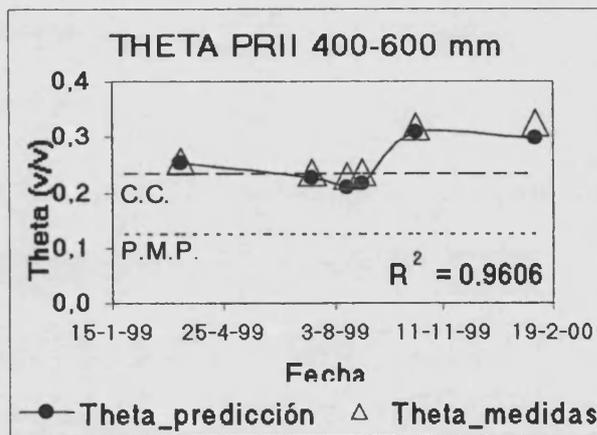


Figura 6.43

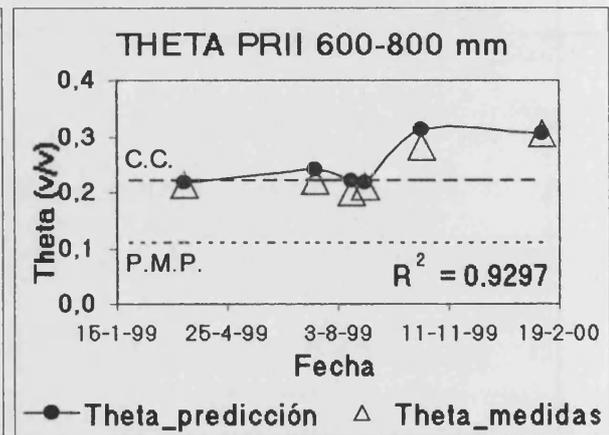


Figura 6.44

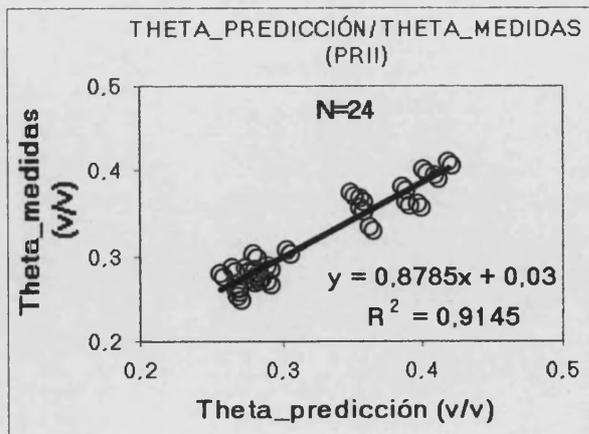


Figura 6.45

Tabla 6.21

INDICES ESTADÍSTICOS PII				
INDICES VALORES ÓPTIMOS	RMSE % 0	CD 1	EF 1	CRM 0
0-200 mm	4,69	0,79	0,93	-0,04
200-400 mm	6,11	0,75	0,89	-0,02
400-600 mm	6,53	0,86	0,80	0,06
600-800 mm	7,09	0,86	0,82	-0,05
Media del Perfil	5,22	0,76	0,90	0,00
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

6. Resultados y discusión

RESULTADOS DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADOS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (THETA PRIII)

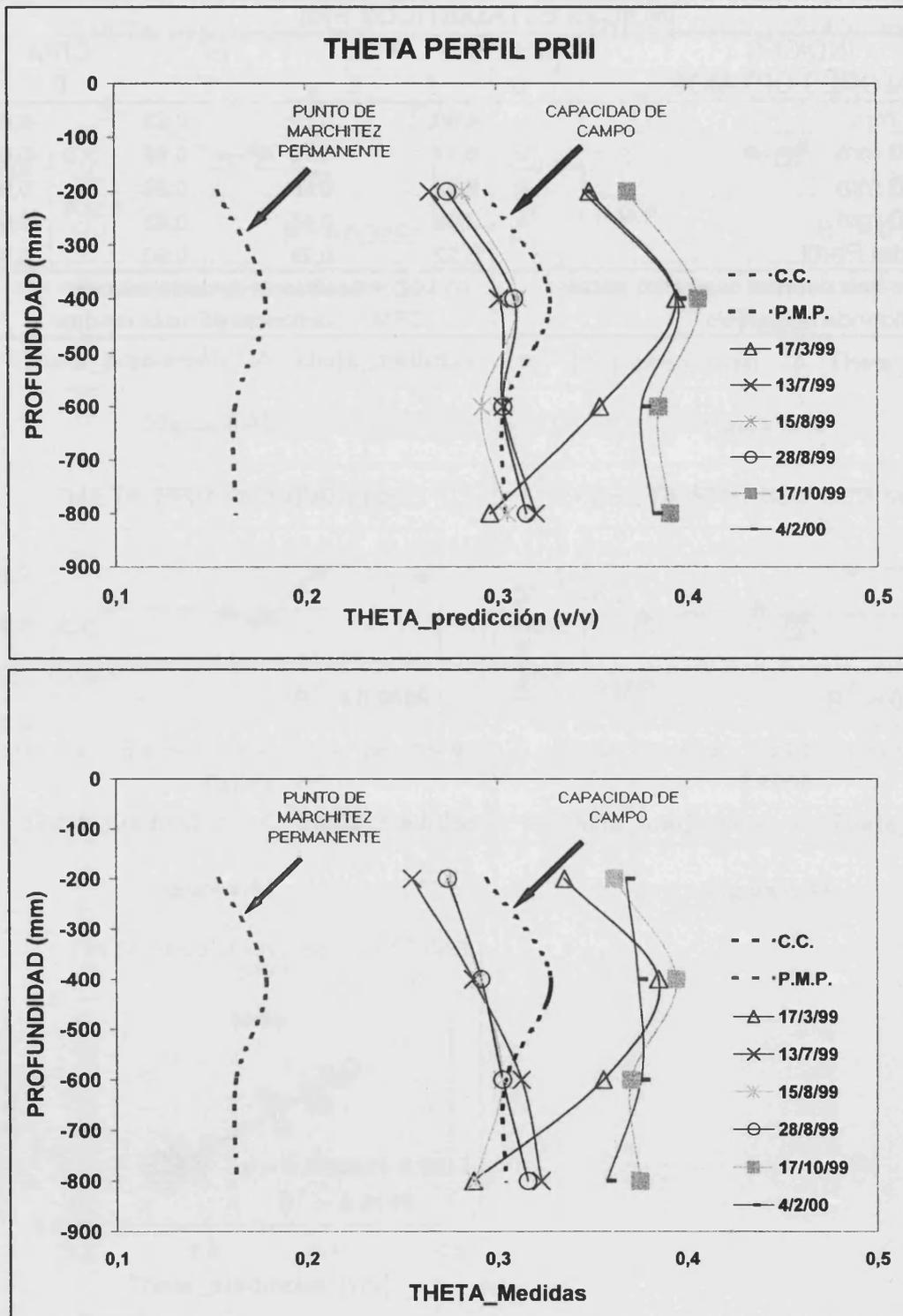


Figura 6.46

VALIDACIÓN DE LAS PREDICIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (THETA PRIII)

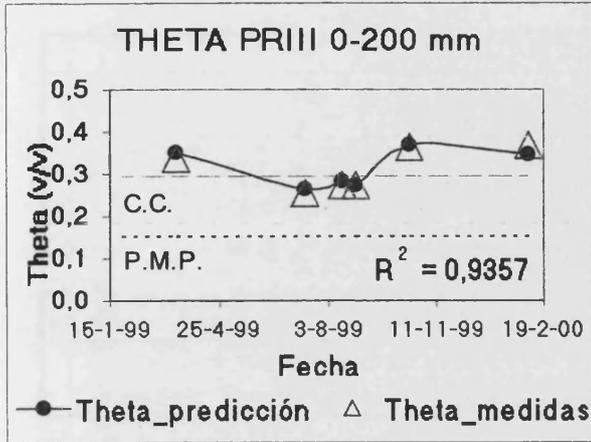


Figura 6.47

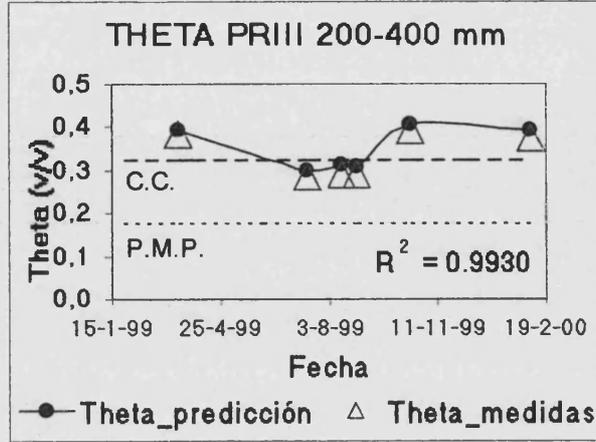


Figura 6.48

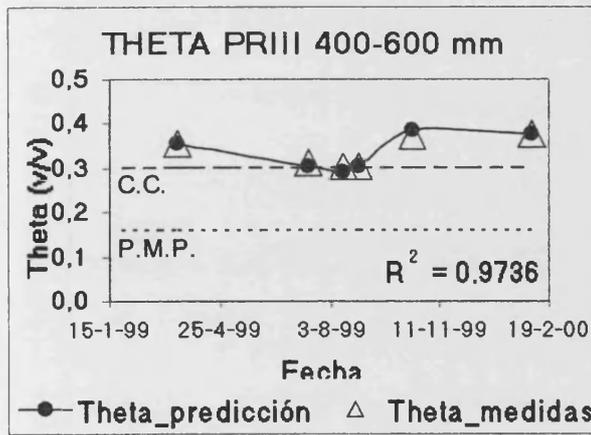


Figura 6.49

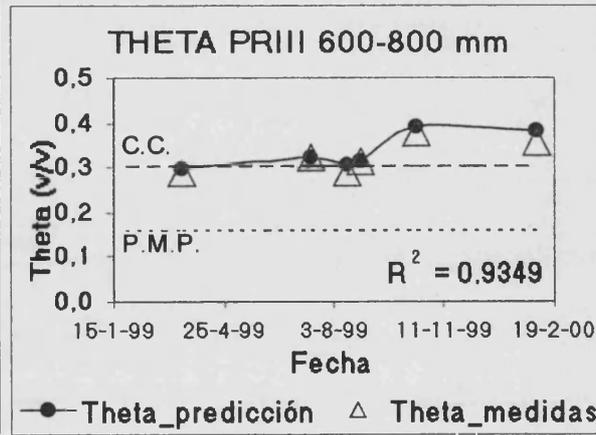


Figura 6.50

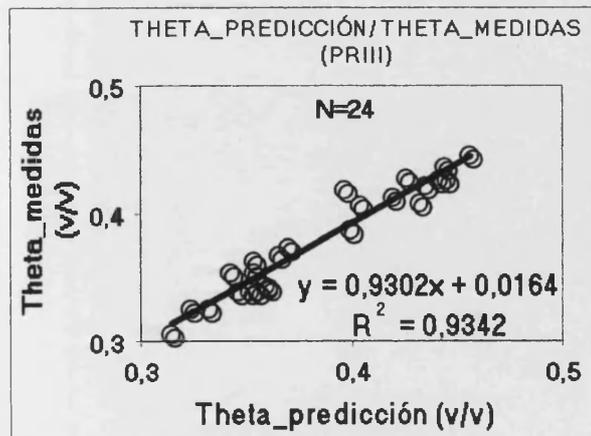


Figura 6.51

6. Resultados y discusión

Tabla 6.22

ÍNDICES ESTADÍSTICOS PRIII				
INDICES VALORES ÓPTIMOS	RMSE % 0	CD 1	EF 1	CRM 0
0-200 mm	3,85	1,18	0,93	-0,01
200-400 mm	4,80	0,97	0,89	-0,05
400-600 mm	2,46	0,70	0,93	0,00
600-800 mm	4,39	0,72	0,81	-0,03
Media del Perfil	3,33	0,94	0,92	-0,01
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

RESULTADOS DE LAS PREDICIONES DEL LEACHM COMPARADOS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (THETA PRIV)

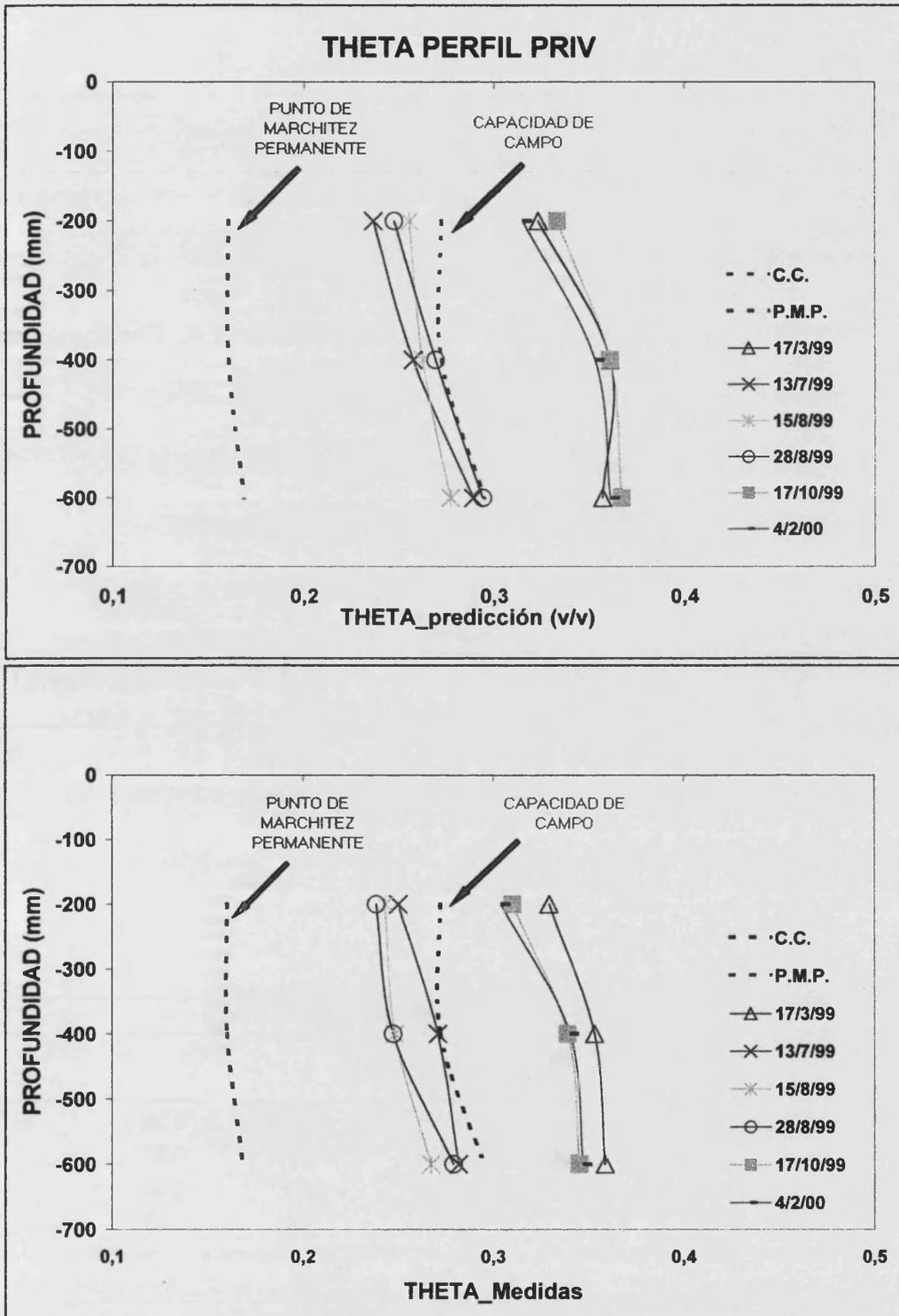


Figura 6.52

6. Resultados y discusión

VALIDACIÓN DE LAS PREDICIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (THETA PRIV)

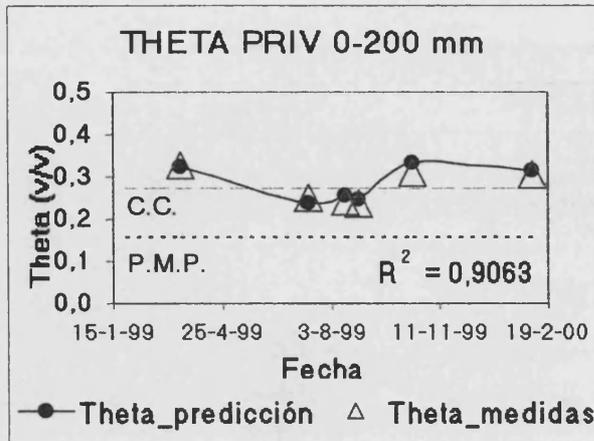


Figura 6.53

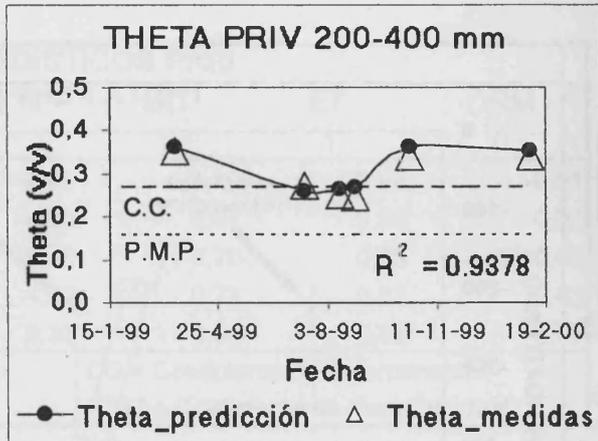


Figura 6.54

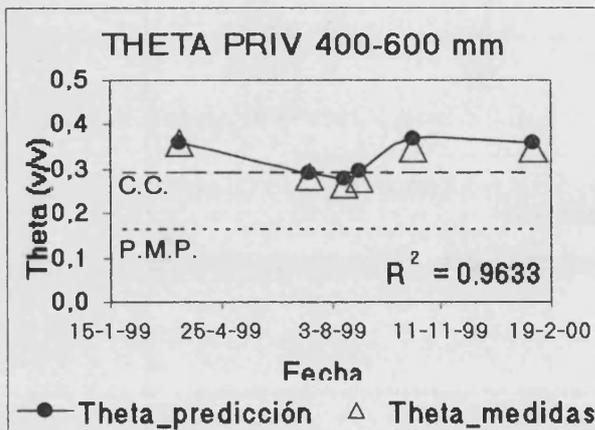


Figura 6.55

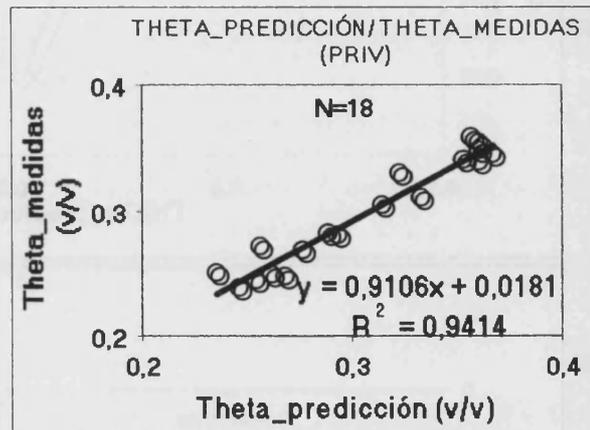


Figura 6.56

Tabla 6.23

ÍNDICES ESTADÍSTICOS PRIV				
INDICES	RMSE %	CD	EF	CRM
VALORES ÓPTIMOS	0	1	1	0
0-200 mm	4,85	0,83	0,86	-0,02
200-400 mm	5,42	0,85	0,87	-0,04
400-600 mm	4,25	0,91	0,88	-0,04
Media del Perfil	4,85	0,84	0,88	-0,03
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

RESULTADOS DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADOS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (THETA PRV)

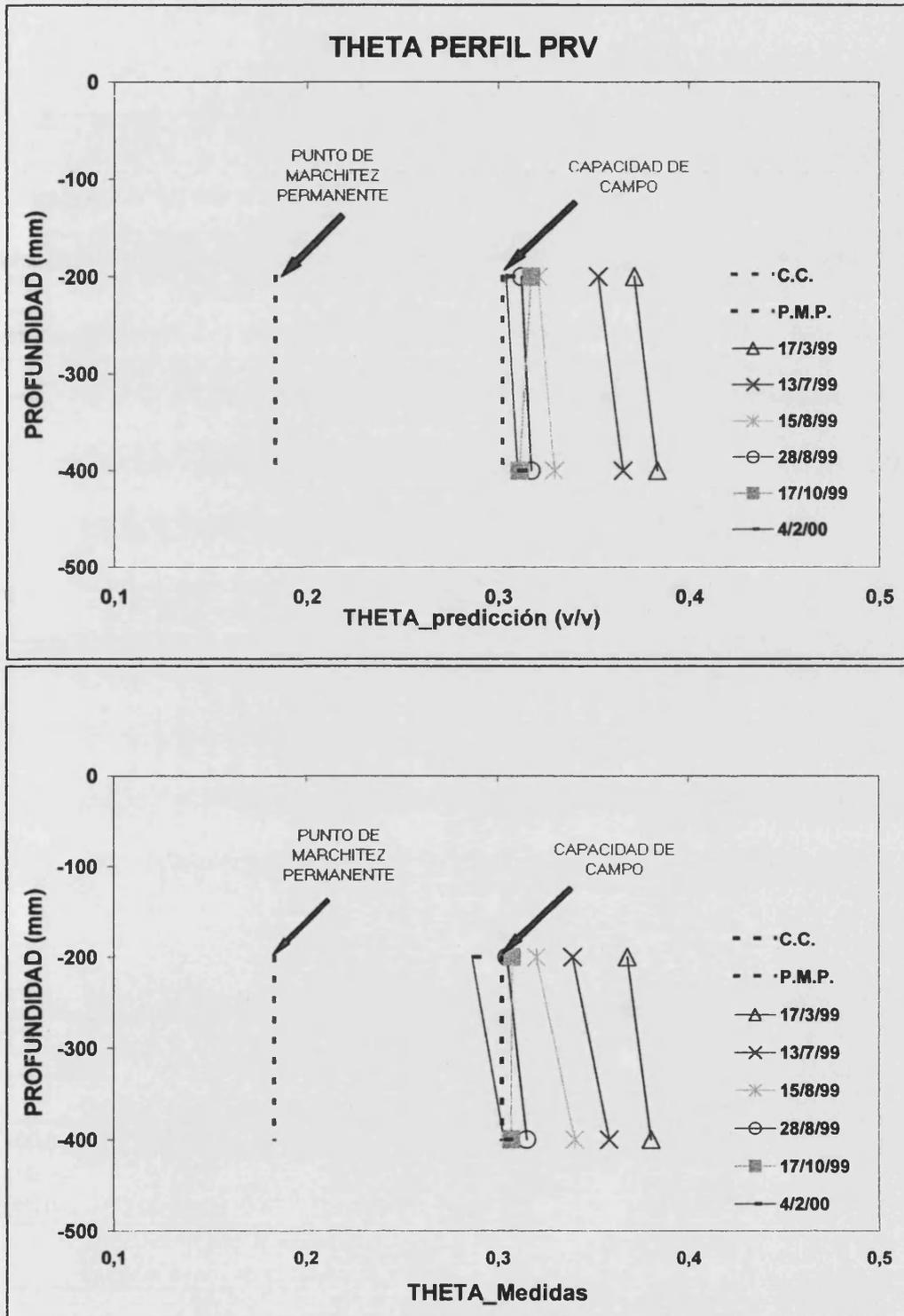


Figura 6.57

6. Resultados y discusión

VALIDACIÓN DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (THETA PRV)

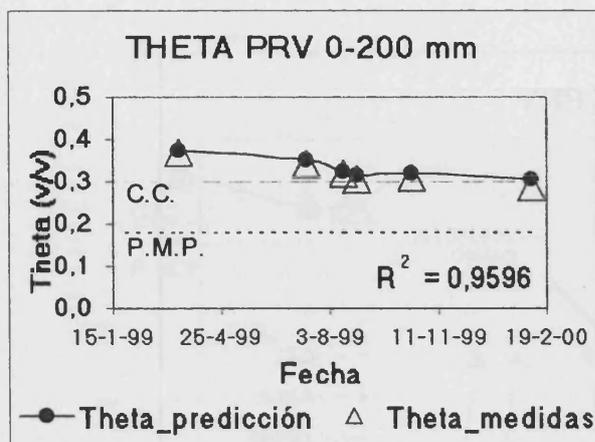


Figura 6.58

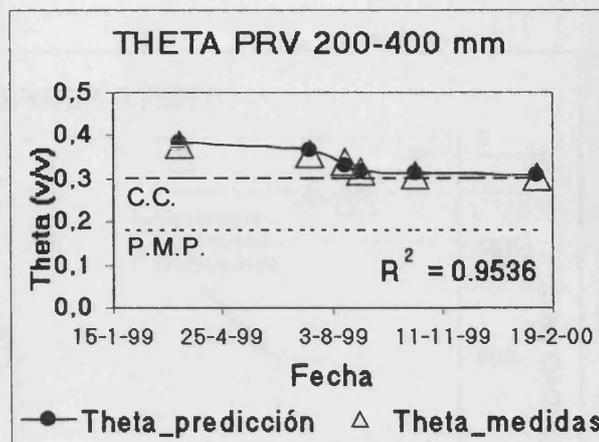


Figura 6.59

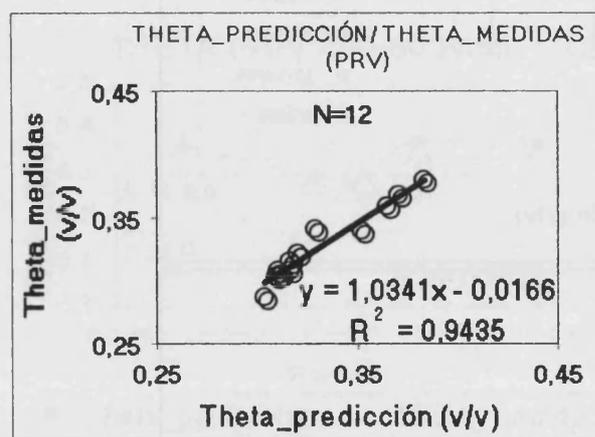


Figura 6.60

Tabla 6.24

ÍNDICES ESTADÍSTICOS PRV				
INDICES VALORES ÓPTIMOS	RMSE % 0	CD 1	EF 1	CRM 0
0-200 mm	3,19	1,07	0,85	-0,03
200-400 mm	1,93	1,00	0,95	-0,01
Media del Perfil	2,56	1,17	0,91	-0,02
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

RESULTADOS DE LAS PREDICIONES DEL LEACHM COMPARADOS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (THETA PRVI)

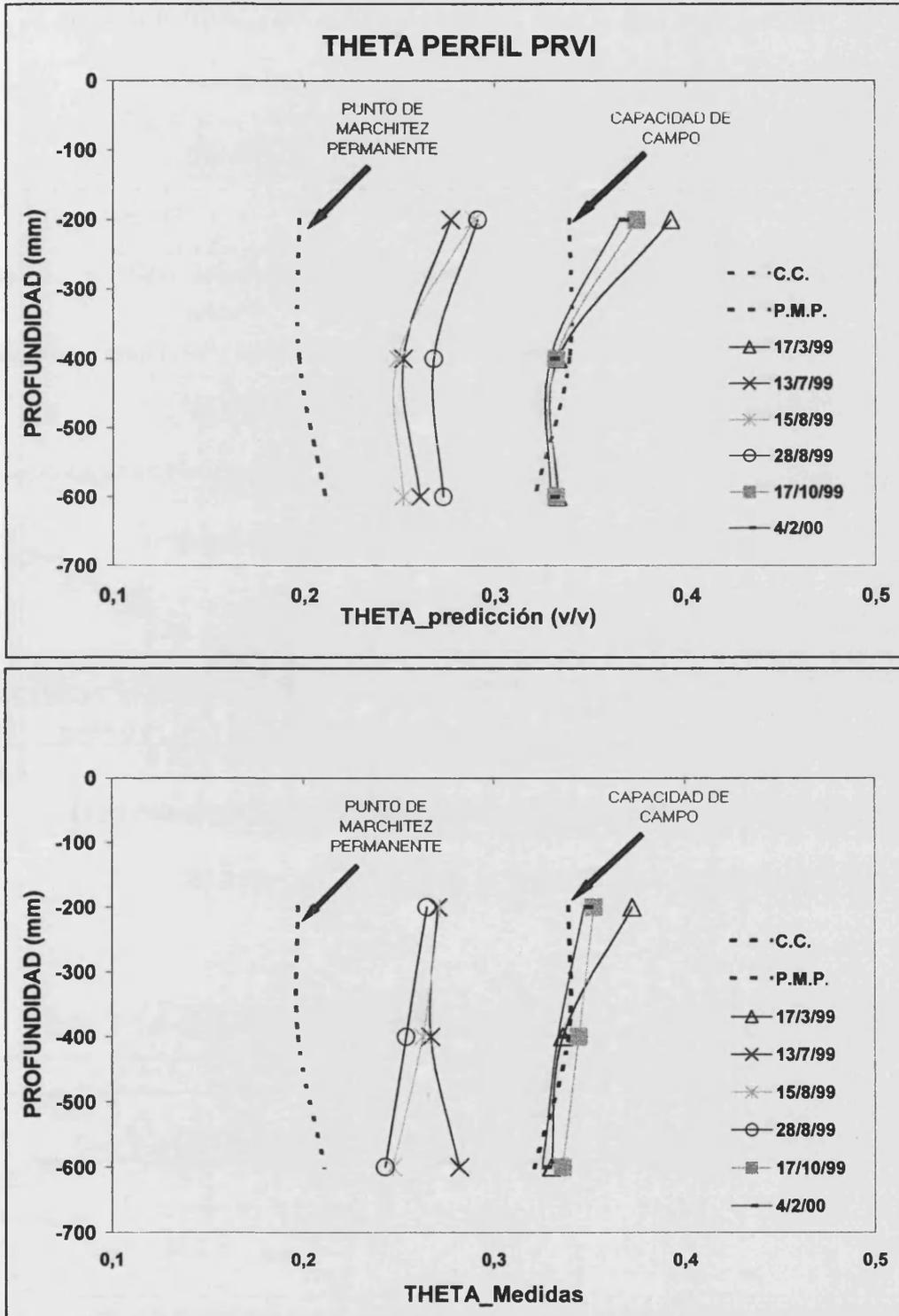


Figura 6.61

6. Resultados y discusión

VALIDACIÓN DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (THETA PRVI)

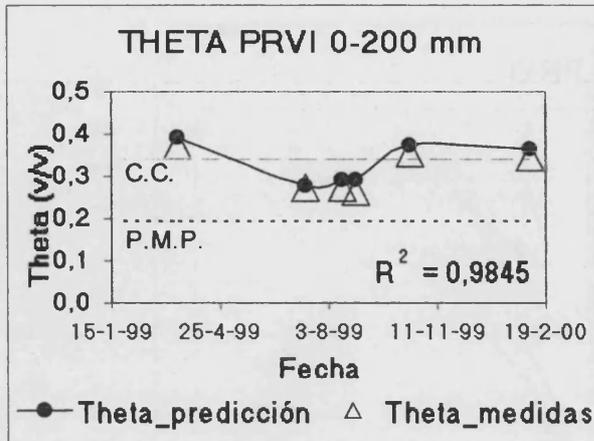


Figura 6.62

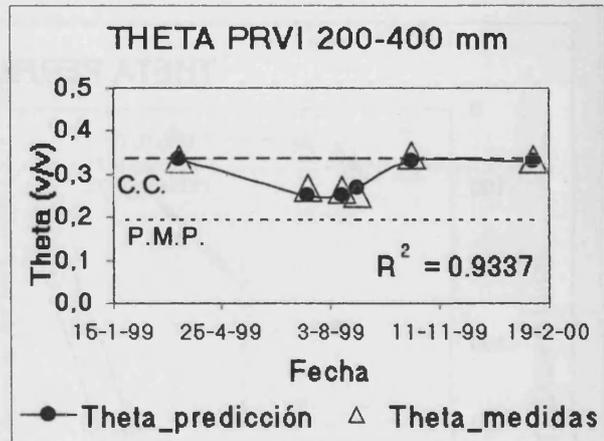


Figura 6.63

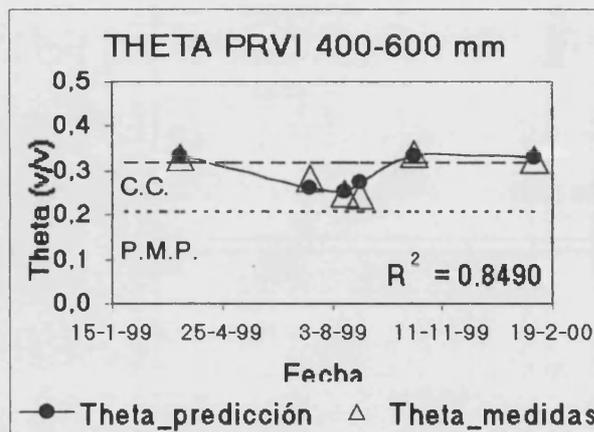


Figura 6.64

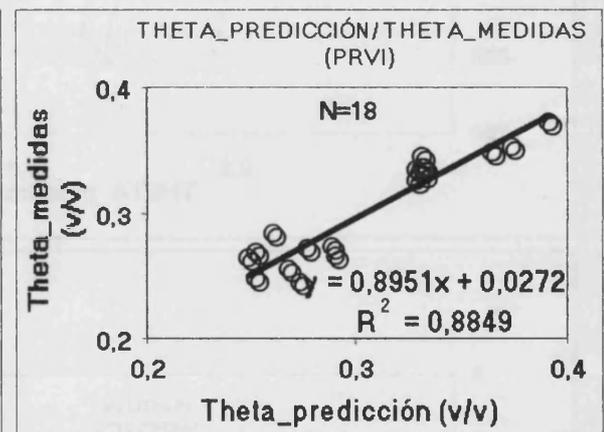


Figura 6.65

Tabla 6.25

ÍNDICES ESTADÍSTICOS PRVI				
INDICES VALORES ÓPTIMOS	RMSE %	CD	EF	CRM
	0	1	1	0
0-200 mm	6,13	0,80	0,82	-0,06
200-400 mm	3,86	1,01	0,91	0,02
400-600 mm	5,21	1,20	0,84	-0,01
Media del Perfil	5,27	0,87	0,86	-0,02
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

RESULTADOS DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADOS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (THETA PRVII)

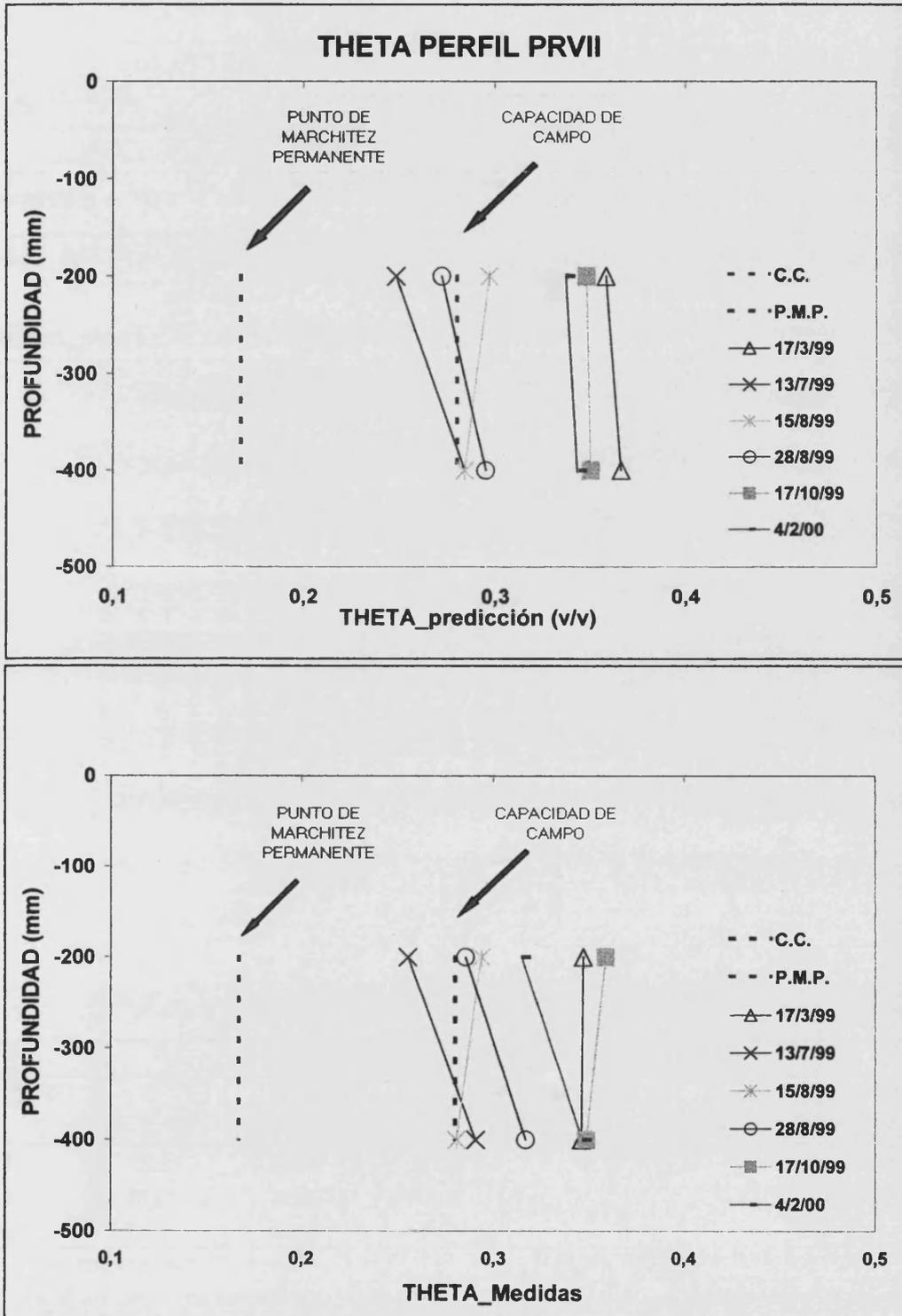


Figura 6.66

6. Resultados y discusión

VALIDACIÓN DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (THETA PRVII)

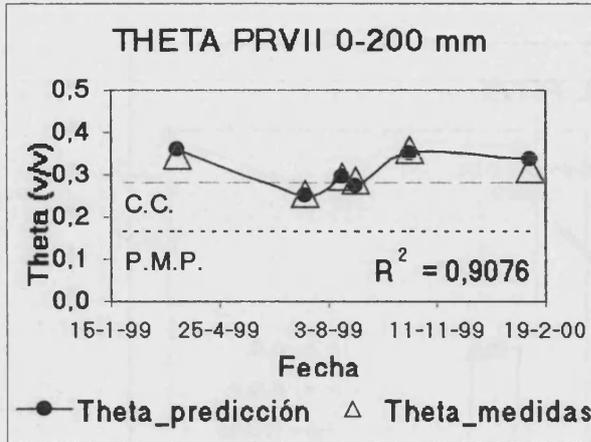


Figura 6.67

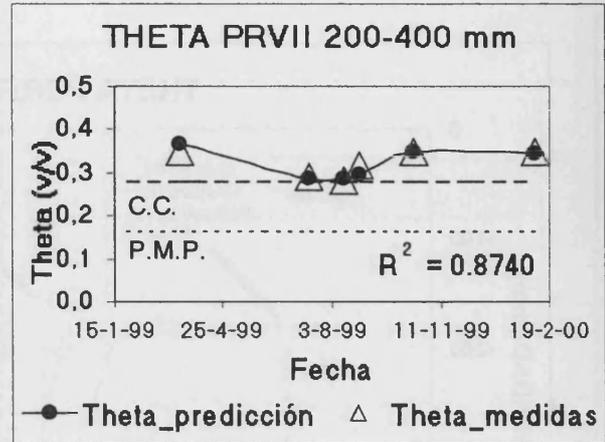


Figura 6.68

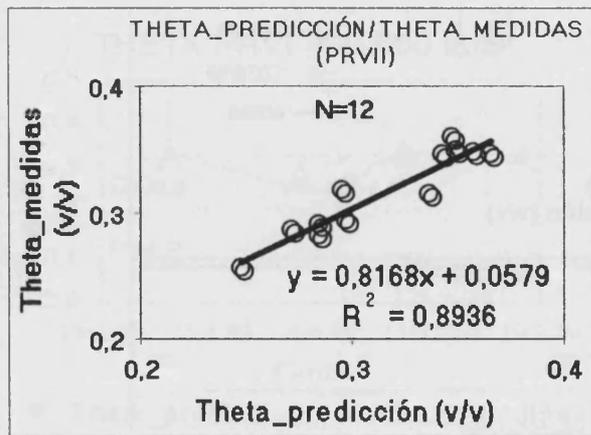


Figura 6.69

Tabla 6.26

ÍNDICES ESTADÍSTICOS PRVII				
INDICES VALORES ÓPTIMOS	RMSE %	CD	EF	CRM
	0	1	1	0
0-200 mm	4,13	0,77	0,87	0,00
200-400 mm	3,90	0,68	0,79	0,00
Media del Perfil	4,26	0,80	0,87	0,00
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

6.1.2.3.CEe

Las figuras 6.70-73, 6.74-77, 6.78-81, 6.82-85, 6.86-89, 6.90-93 y 6.94-96 representan los valores de conductividad eléctrica obtenidos con el modelo LEACHM para las fechas de validación comparados con las medidas de las muestras de campo. Estos valores han sido recalculados mediante el programa CHEMEQ al contenido de humedad de la pasta.

Las tablas 6.27-33 representan los valores obtenidos para los índices estadísticos en cada perfil.



6. Resultados y discusión

VALIDACIÓN DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (CEe PRI)

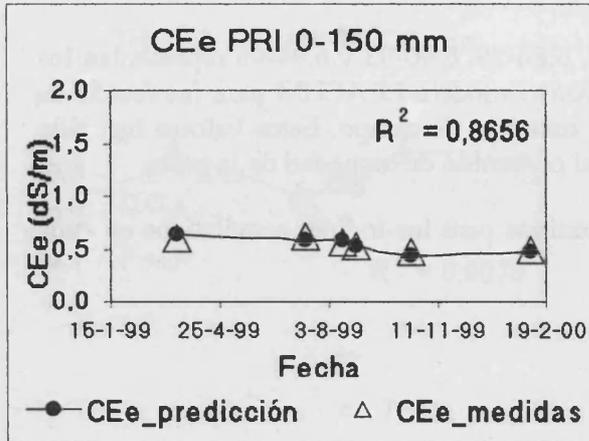


Figura 6.70

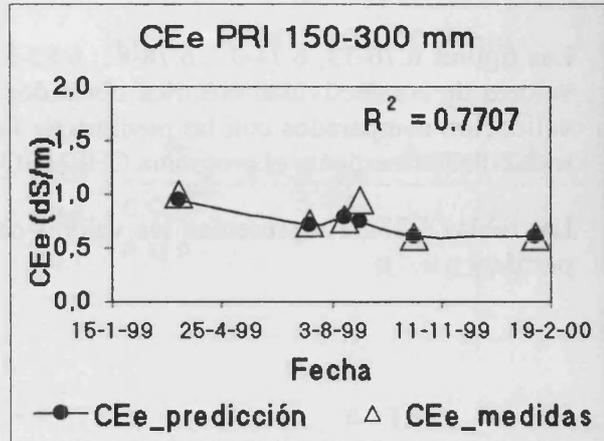


Figura 6.71

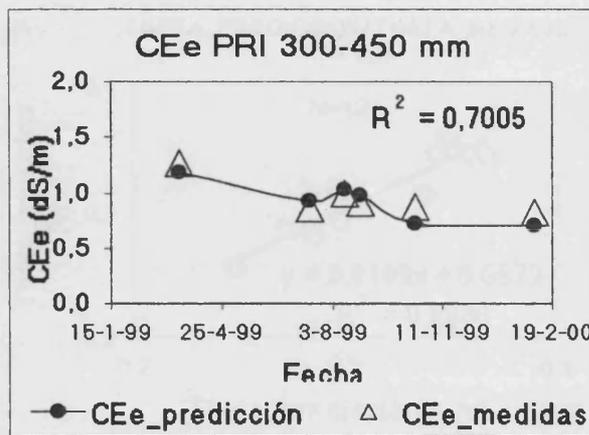


Figura 6.72

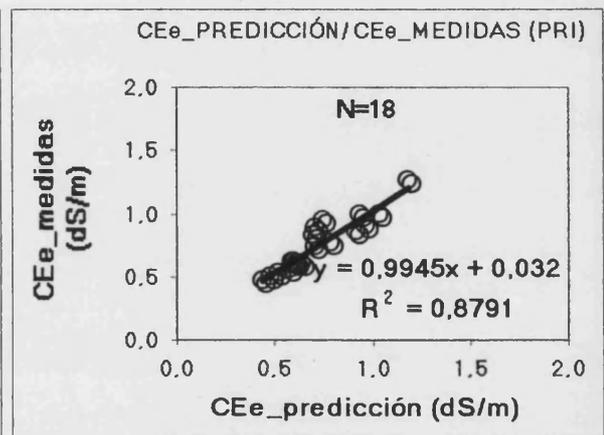


Figura 6.73

Tabla 6.27

ÍNDICES ESTADÍSTICOS CEe_PRI				
INDICES VALORES ÓPTIMOS	RMSE % 0	CD 1	EF 1	CRM 0
0-150 mm	5,03	0,61	0,74	0,01
150-300 mm	11,19	1,57	0,68	0,05
300-450 mm	10,54	0,75	0,56	0,04
Media del Perfil	10,32	1,10	0,86	0,04
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

VALIDACIÓN DE LAS PREDICIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (CEe PRII)

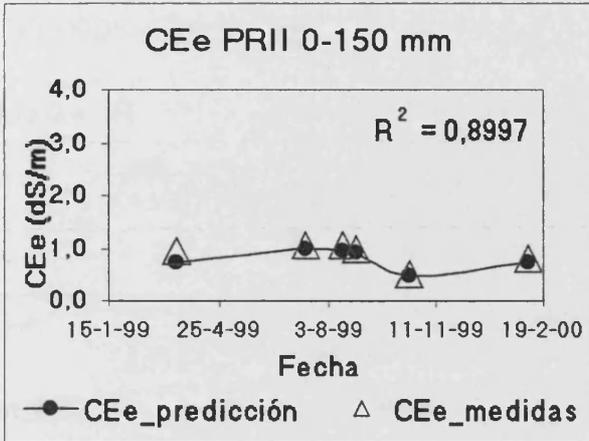


Figura 6.74

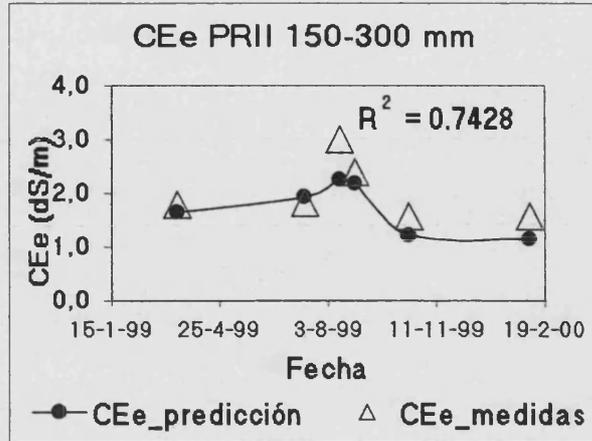


Figura 6.75

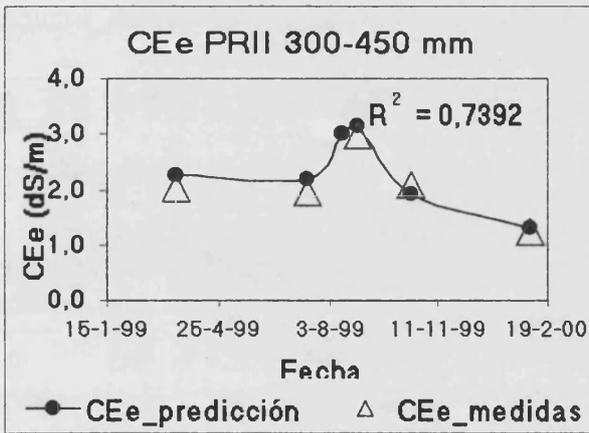


Figura 6.76

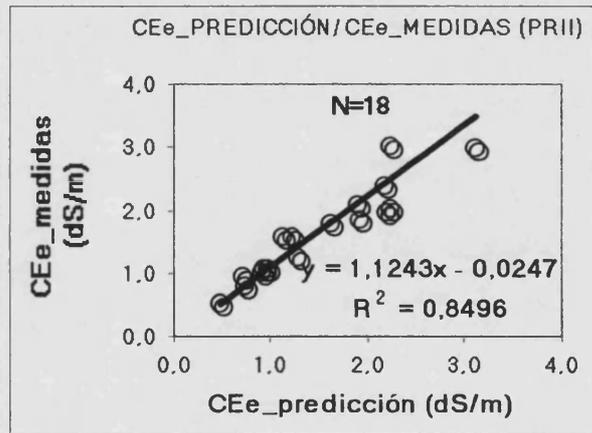


Figura 6.77

Tabla 6.28

ÍNDICES ESTADÍSTICOS CEe_PRII				
INDICES VALORES ÓPTIMOS	RMSE %	CD	EF	CRM
	0	1	1	0
0-150 mm	12,83	1,02	0,67	0,11
150-300 mm	19,36	1,00	0,43	0,14
300-450 mm	24,19	2,47	0,66	0,06
Media del Perfil	54,57	1,43	0,91	0,23
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

6. Resultados y discusión

VALIDACIÓN DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (CEe PRIII)

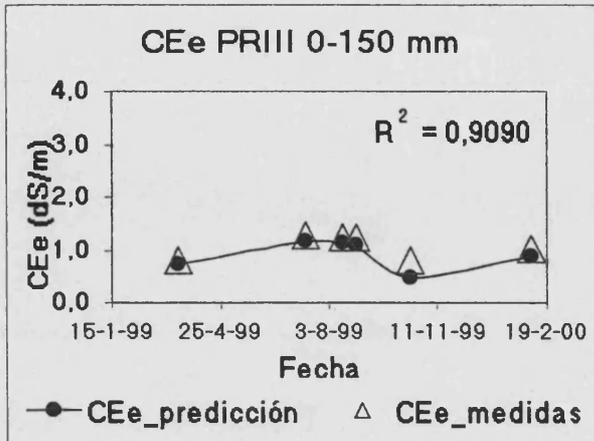


Figura 6.78

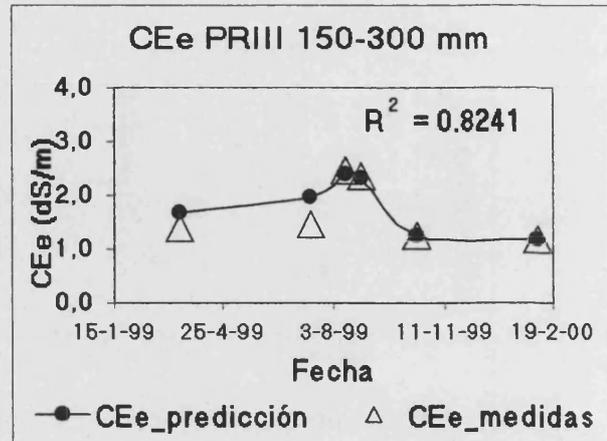


Figura 6.79

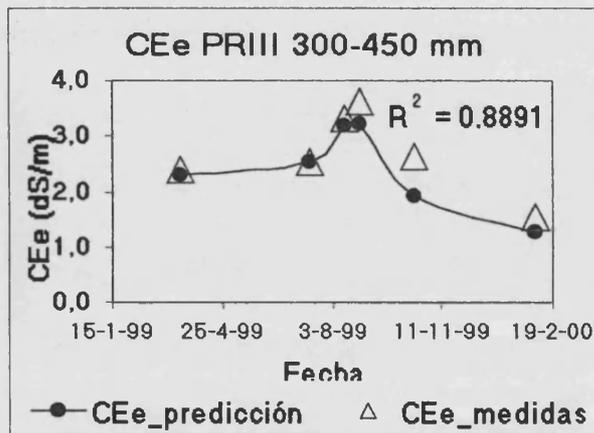


Figura 6.80

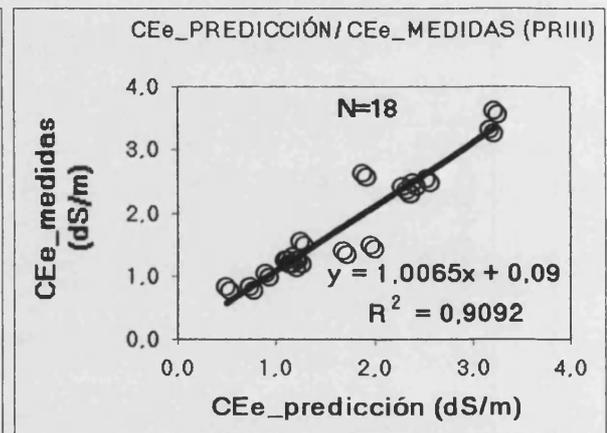


Figura 6.81

Tabla 6.29

ÍNDICES ESTADÍSTICOS CEe_PRIII				
INDICES	RMSE %	CD	EF	CRM
VALORES ÓPTIMOS	0	1	1	0
0-150 mm	15,54	0,49	0,31	0,14
150-300 mm	14,88	1,14	0,77	-0,07
300-450 mm	13,53	0,80	0,71	0,10
Media del Perfil	15,02	1,10	0,89	0,06
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

VALIDACIÓN DE LAS PREDICIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (CEe PRIV)

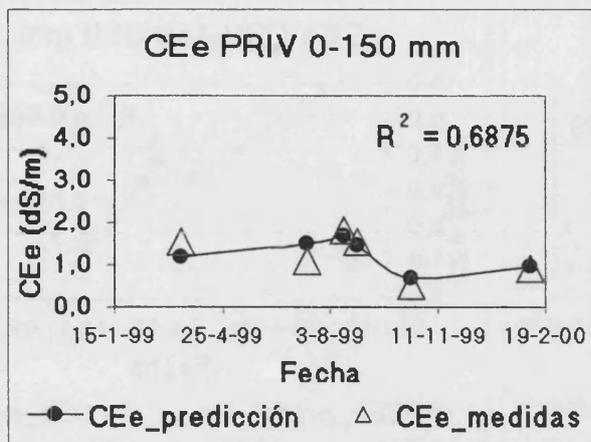


Figura 6.82

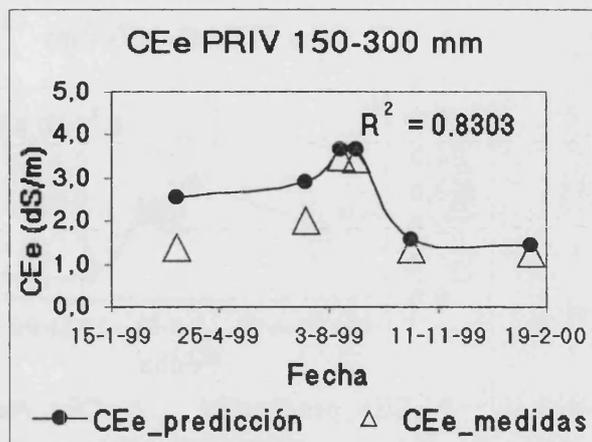


Figura 6.83

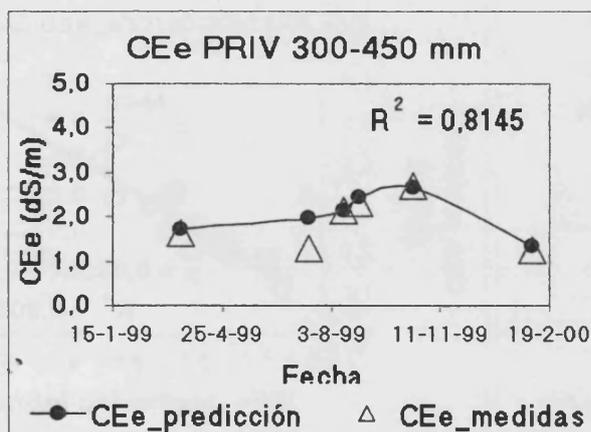


Figura 6.84

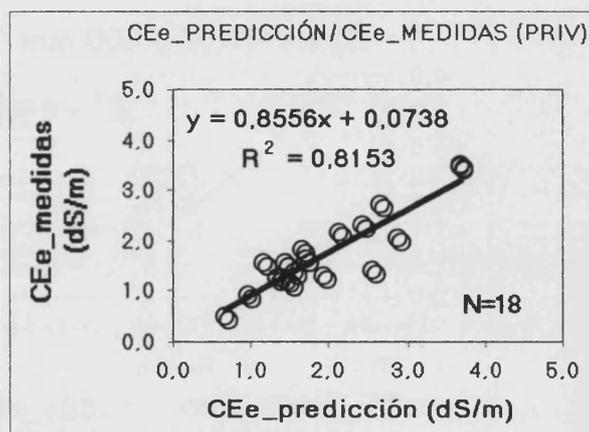


Figura 6.85

Tabla 6.30

ÍNDICES ESTADÍSTICOS CEE_PRIV				
INDICES	RMSE %	CD	EF	CRM
VALORES ÓPTIMOS	0	1	1	0
0-150 mm	20,28	1,71	0,68	0,00
150-300 mm	31,29	1,07	0,63	-0,25
300-450 mm	15,32	1,35	0,72	-0,09
Media del Perfil	25,21	0,92	0,72	-0,13
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

6. Resultados y discusión

VALIDACIÓN DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (CEe PRV)

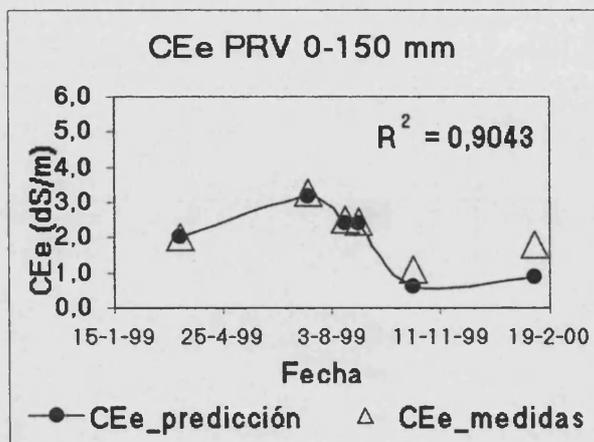


Figura 6.86

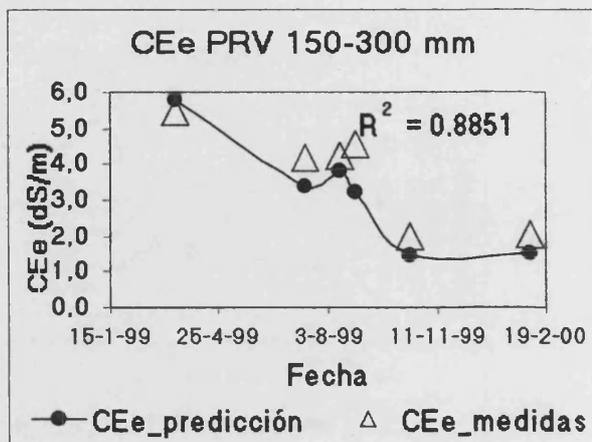


Figura 6.87

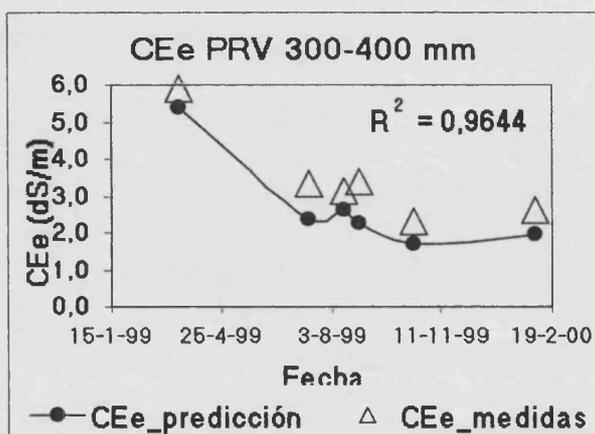


Figura 6.88

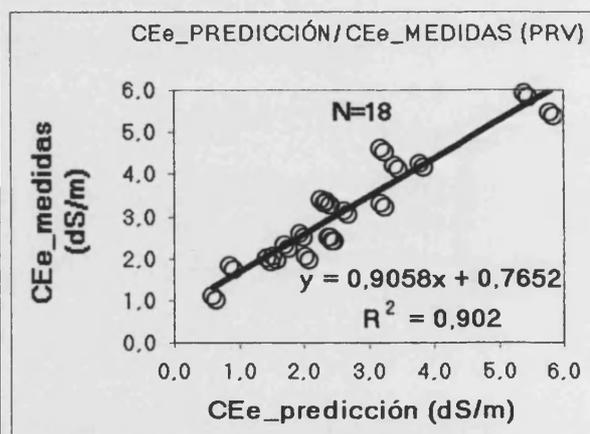


Figura 6.89

Tabla 6.31

ÍNDICES ESTADÍSTICOS CEE_PRV				
INDICES	RMSE %	CD	EF	CRM
VALORES ÓPTIMOS	0	1	1	0
0-150 mm	19,96	0,51	0,58	0,13
150-300 mm	20,05	0,68	0,67	0,15
300-400 mm	22,08	0,67	0,58	0,21
Media del Perfil	87,81	1,39	0,94	0,68
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

VALIDACIÓN DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (CEe PRVI)

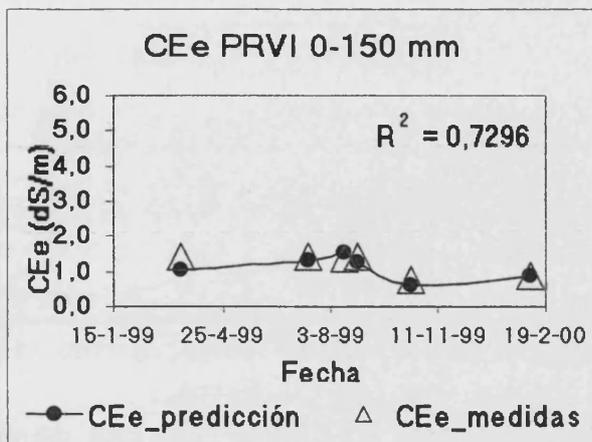


Figura 6.90

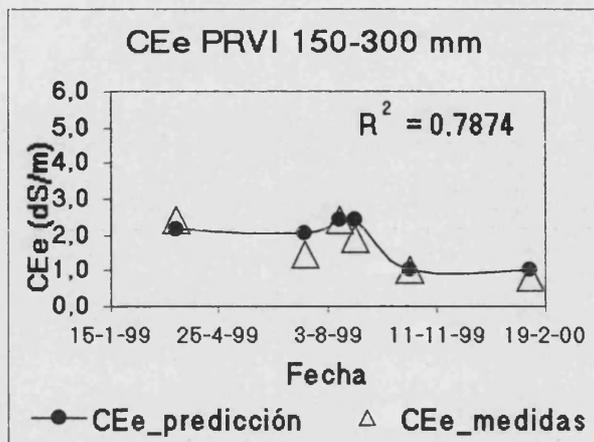


Figura 6.91

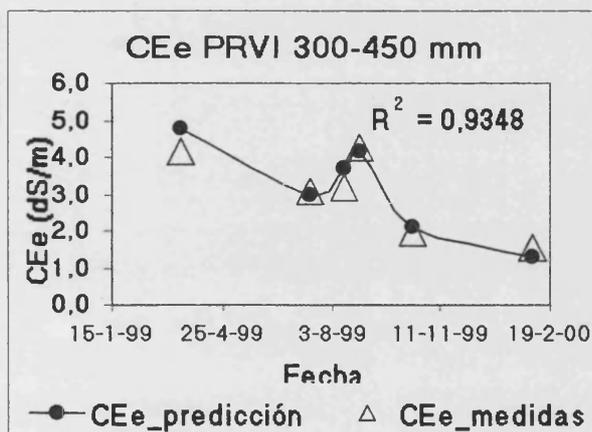


Figura 6.92

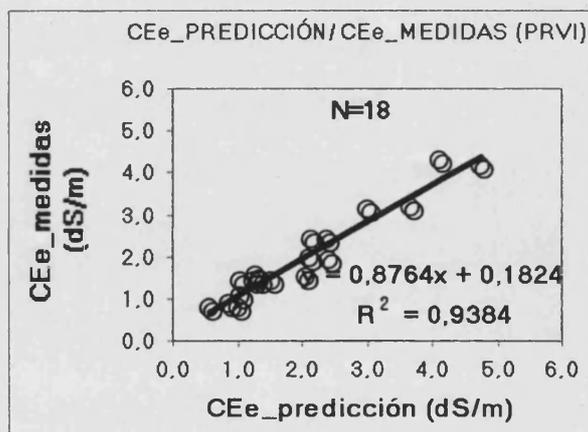


Figura 6.93

Tabla 6.32

ÍNDICES ESTADÍSTICOS CEe_PRVI				
INDICES	RMSE %	CD	EF	CRM
VALORES ÓPTIMOS	0	1	1	0
0-150 mm	16,07	0,70	0,51	0,09
150-300 mm	20,59	1,00	0,70	-0,11
300-450 mm	11,64	0,73	0,88	-0,04
Media del Perfil	15,52	0,82	0,92	-0,04
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

6. Resultados y discusión

VALIDACIÓN DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (CEe PRVII)

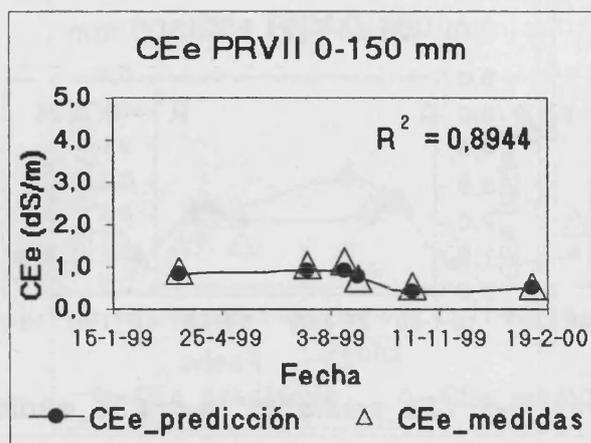


Figura 6.94

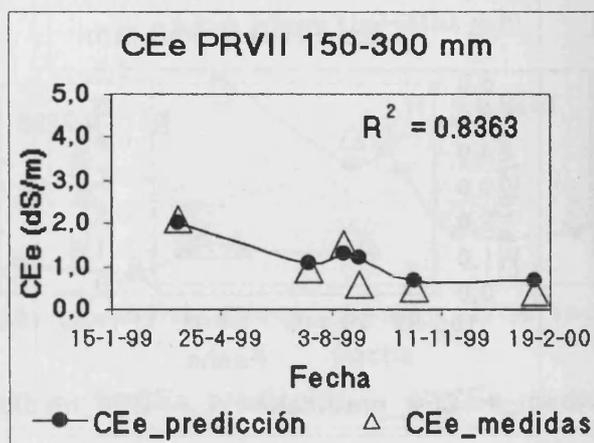


Figura 6.95

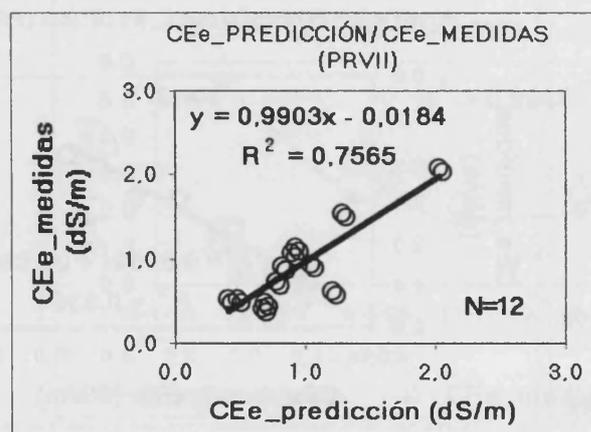


Figura 6.96

Tabla 6.33

INDICES ESTADÍSTICOS CEE_PRVII				
INDICES	RMSE %	CD	EF	CRM
VALORES ÓPTIMOS	0	1	1	0
0-150 mm	15,47	1,14	0,71	0,12
150-300 mm	30,60	1,61	0,75	-0,15
Media del Perfil	25,85	1,29	0,75	-0,03
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

6.1.2.4.RAS

Las figuras 6.97-99, 6.100-102, 6.103-105, 6.106-108, 6.109-111, 6.112-114, y 6.115-116 representan los valores de RAS obtenidos con el modelo LEACHM para las fechas de validación comparados con las medidas de las muestras de campo. Estos valores han sido recalculados mediante el programa CHEMEQ al contenido de humedad de la pasta.

Las tablas 6.34-40 representan los valores obtenidos para los índices estadísticos en cada perfil.

6. Resultados y discusión

VALIDACIÓN DE LAS PREDICIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (RASe PRI)

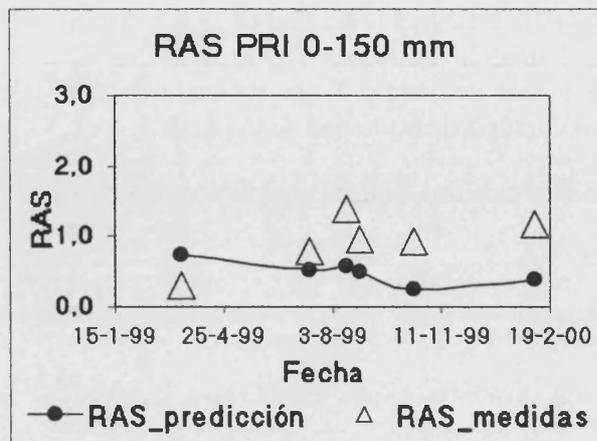


Figura 6.97

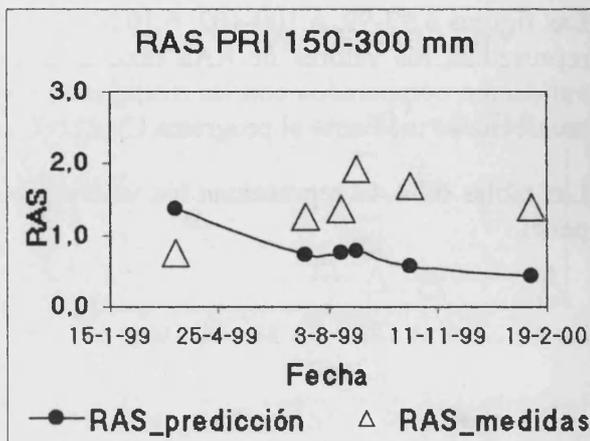


Figura 6.98

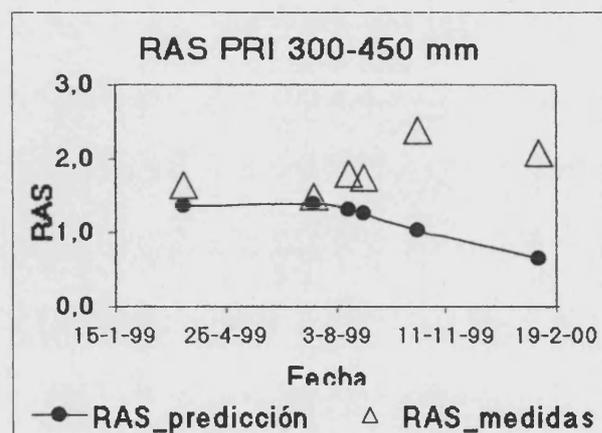


Figura 6.99

Tabla 6.34

ÍNDICES ESTADÍSTICOS RAS_PRI				
INDICES VALORES ÓPTIMOS	RMSE % 0	CD 1	EF 1	CRM 0
0-150 mm	66,29	0,56	-2,21	0,47
150-300 mm	62,17	0,28	-4,62	0,45
300-450 mm	46,74	0,16	-7,39	0,37
Media del Perfil	56,88	0,55	-1,41	0,42
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

VALIDACIÓN DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (RASe PRII)

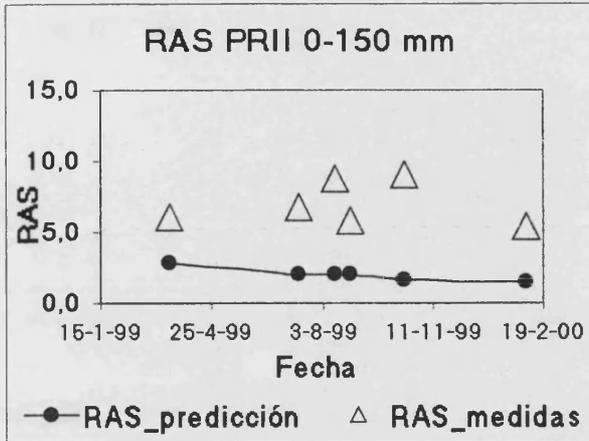


Figura 6.100

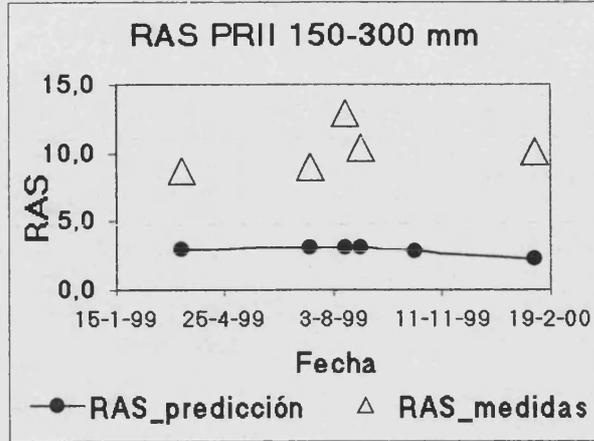


Figura 6.101

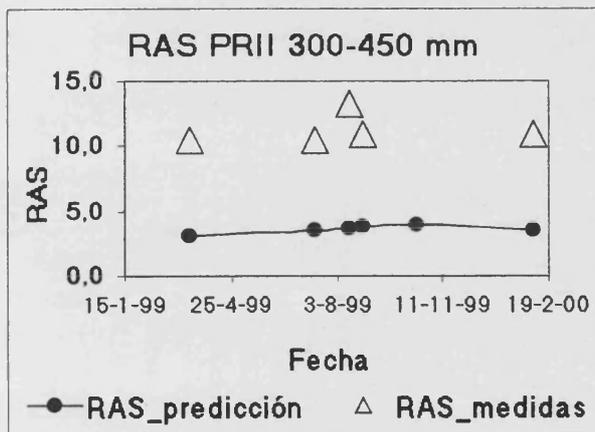


Figura 6.102

Tabla 6.35

ÍNDICES ESTADÍSTICOS RAS_PRII				
INDICES	RMSE %	CD	EF	CRM
VALORES ÓPTIMOS	0	1	1	0
0-150 mm	74,43	0,08	-11,96	0,71
150-300 mm	76,96	0,08	-12,32	0,74
300-450 mm	71,41	0,05	-20,34	0,70
Media del Perfil	75,77	0,16	-5,96	0,72
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

6. Resultados y discusión

VALIDACIÓN DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (RASe PRIII)

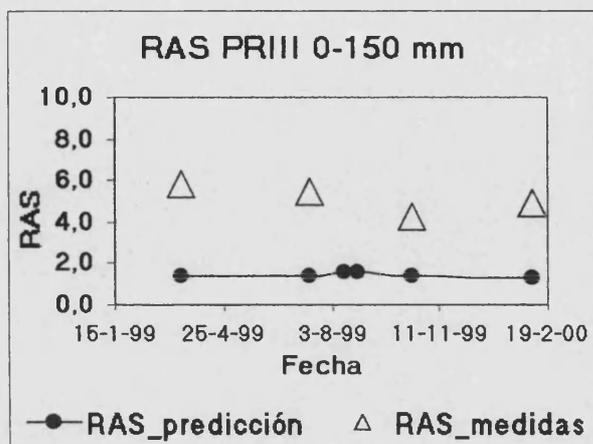


Figura 6.103

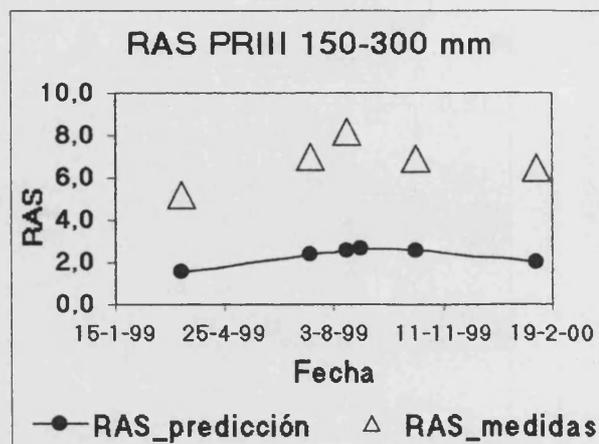


Figura 6.104

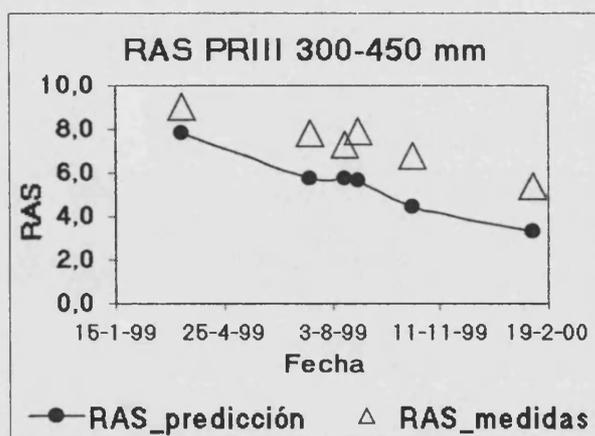


Figura 6.105

Tabla 6.36

ÍNDICES ESTADÍSTICOS RAS_PRIII				
INDICES	RMSE %	CD	EF	CRM
VALORES ÓPTIMOS	0	1	1	0
0-150 mm	88,13	0,25	-4,01	0,79
150-300 mm	77,59	0,22	-4,35	0,71
300-450 mm	26,72	0,23	-2,06	0,26
Media del Perfil	69,30	0,24	-3,89	0,59
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

VALIDACIÓN DE LAS PREDICIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (RAS_e PRIV)

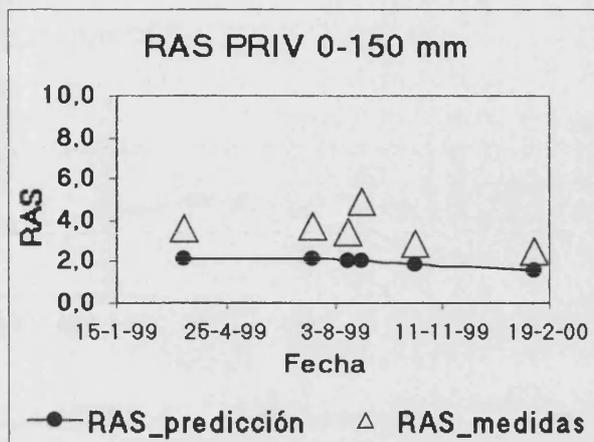


Figura 6.106

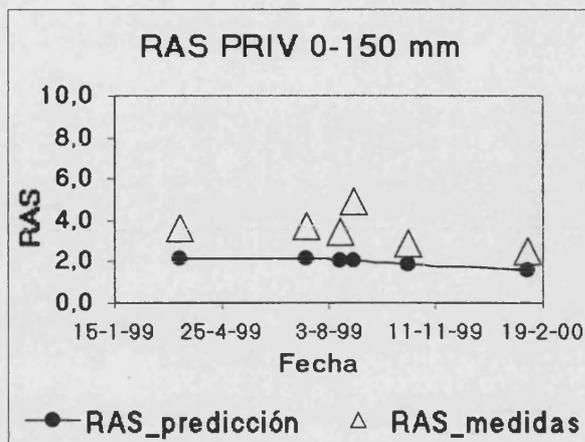


Figura 6.107

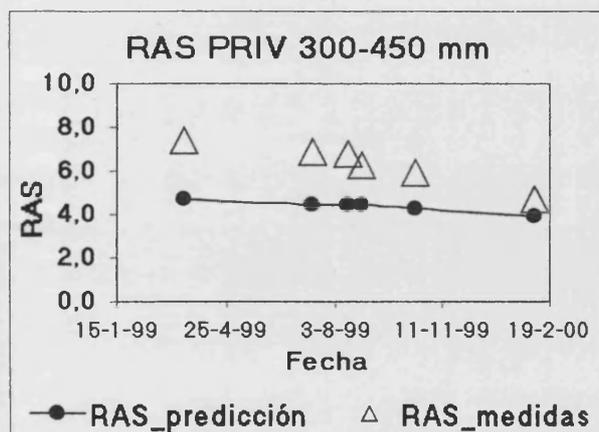


Figura 6.108

Tabla 6.37

ÍNDICES ESTADÍSTICOS RAS_PRIV				
INDICES	RMSE %	CD	EF	CRM
VALORES ÓPTIMOS	0	1	1	0
0-150 mm	47,05	0,22	-4,08	0,44
150-300 mm	22,90	0,27	-3,07	0,19
300-450 mm	32,47	0,20	-4,48	0,31
Media del Perfil	34,85	0,65	-0,32	0,31
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

6. Resultados y discusión

VALIDACIÓN DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (RASe PRV)

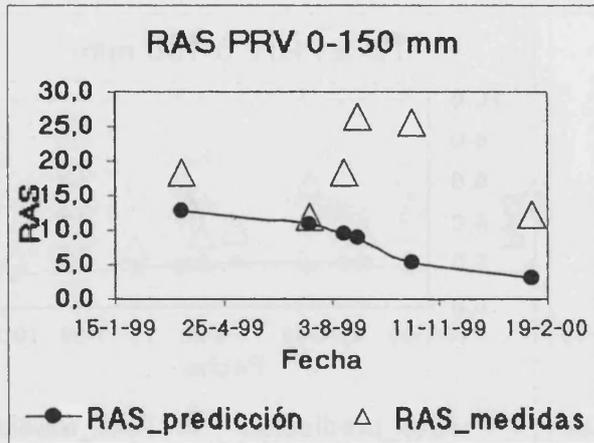


Figura 6.109

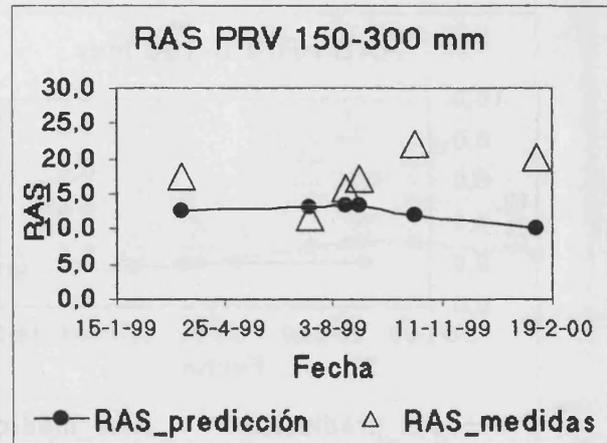


Figura 6.110

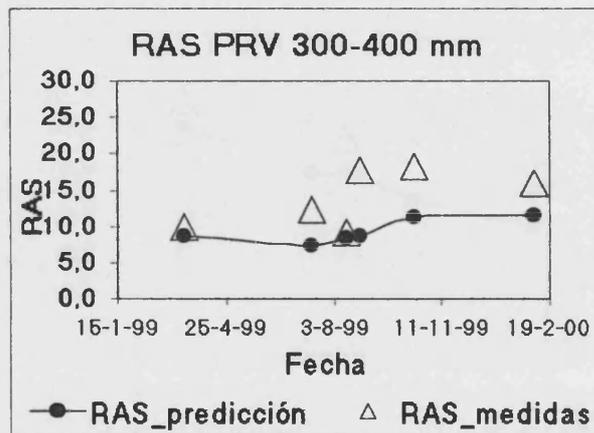


Figura 6.111

Tabla 6.38

ÍNDICES ESTADÍSTICOS RAS_PRV				
INDICES	RMSE %	CD	EF	CRM
VALORES ÓPTIMOS	0	1	1	0
0-150 mm	65,48	0,27	-3,67	0,55
150-300 mm	37,18	0,41	-2,88	0,29
300-400 mm	39,20	0,56	-1,23	0,33
Media del Perfil	51,67	0,45	-2,20	0,40
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

VALIDACIÓN DE LAS PREDICIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (RAS e PRVI)

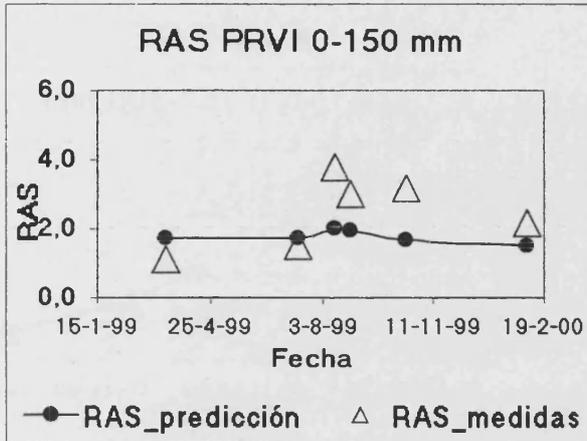


Figura 6.112

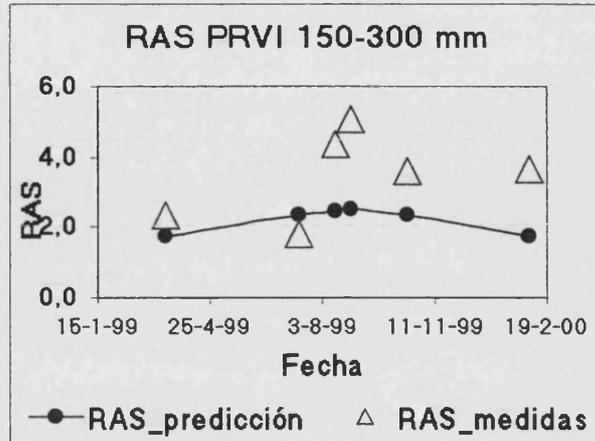


Figura 6.113

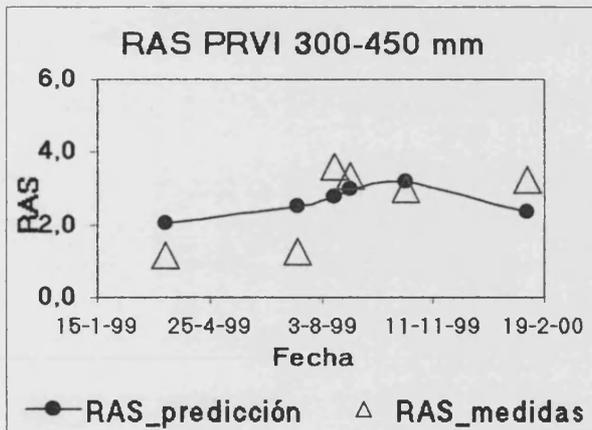


Figura 6.114

Tabla 6.39

ÍNDICES ESTADÍSTICOS RAS_PRVI				
INDICES	RMSE %	CD	EF	CRM
VALORES ÓPTIMOS	0	1	1	0
0-150 mm	46,09	1,84	-0,39	0,28
150-300 mm	47,25	0,73	-1,11	0,37
300-450 mm	31,51	6,72	0,34	-0,02
Media del Perfil	43,81	2,02	-0,22	0,23
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

6. Resultados y discusión

VALIDACIÓN DE LAS PREDICCIONES DEL LEACHM COMPARADAS CON LAS MEDIDAS DE CAMPO (RASe PRVII)

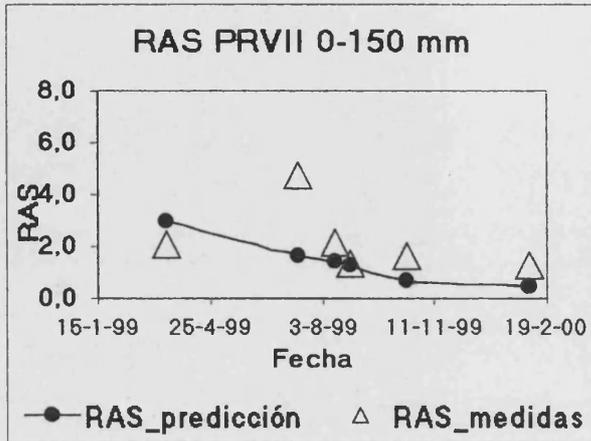


Figura 6.115

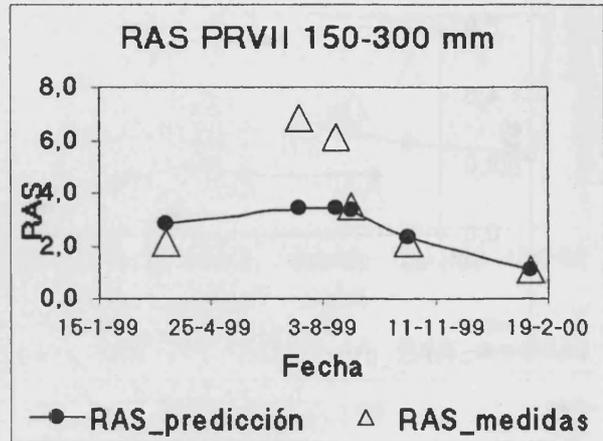


Figura 6.116

Tabla 6.40

ÍNDICES ESTADÍSTICOS RAS_PRVII				
INDICES VALORES ÓPTIMOS	RMSE % 0	CD 1	EF 1	CRM 0
0-150 mm	65,82	1,10	-0,48	0,36
150-300 mm	50,30	3,13	0,28	0,25
Media del Perfil	56,52	1,95	0,24	0,29
RMSE = Raíz del error cuadrático medio		CD = Coeficiente de determinación		
EF = Eficiencia del modelo		CRM = Coeficiente de masa residual		

Discusión sobre la validación del modelo LEACHM:

- Parte hidráulica

- Perfil PRI: Las observaciones en general muestran un paralelismo con las estimaciones obtenidas con el modelo en la zona inferior del perfil (>200 mm) tal como muestran los índices estadísticos ($CD > 0.75$ y $EF > 0.90$). El modelo ni subestima ni sobreestima las medidas ($CRM = 0$).
- Perfil PRII: Las observaciones muestran un paralelismo con las estimaciones en la zona superior del perfil donde el índice de eficiencia del modelo es superior 0.90 y el coeficiente de determinación (CD) es superior a 0.75, por tanto la dispersión de las estimaciones respecto a la media de las medidas es baja. En general la eficiencia del modelo es bastante elevada sin embargo el modelo sobreestima los resultados excepto en la zona intermedia donde se observa una subestimación ($CRM = 0.06$).
- Perfil PRIII: Se observa una buena correlación de los resultados aunque la eficiencia del modelo es menor en la zona inferior ($EF = 0.81$ y $CD = 0.72$). El índice RMSE muestra una ligera sobreestimación en todo el perfil ($RMSE < 4.80$ y $CRM < 0$).
- Perfil PRIV: Los índices estadísticos indican un ajuste aceptable de los datos con las estimaciones aunque se observa una sobreestimación de los resultados en todo el perfil ($CRM < 0$), no obstante esta sobreestimación no es muy acusada ($RMSE < 5.42$). La eficiencia del modelo es similar en todo el perfil aunque se observa un ligero incremento en profundidad ($EF=0.88$). La dispersión de las simulaciones frente a las medidas es baja ($CD > 0.83$).
- Perfil PRV: El paralelismo entre las estimaciones y las observaciones es mayor en la parte inferior del perfil ($EF = 0.95$). Se observa un ajuste bastante elevado aunque hay una sobreestimación en los resultados del modelo en todo el perfil ($CRM < 0$ y $RMSE < 3.19$). La dispersión de las estimaciones respecto de la media de las observaciones es muy baja en todo el perfil incluso nula en la zona inferior entre 200-400 mm ($CD = 1.00$).
- Perfil PRVI: La correlación entre las observaciones y las estimaciones es adecuada aunque la eficiencia del modelo es menor que en el resto de perfiles (EF perfil = 0.86). El modelo presenta un mejor ajuste en la zona intermedia del perfil entre 200-400 mm ($EF = 0.91$). En general se observa una sobreestimación de los resultados excepto en la zona intermedia donde se produce una subestimación ($CRM = 0.02$). No obstante esta sobreestimación no es muy acusada ($RMSE < 6.13$). La dispersión de las estimaciones respecto de la media de las medidas es baja.
- Perfil PRVII: Al igual que el perfil anterior, este perfil presenta una correlación entre las medidas y las estimaciones baja (EF perfil < 0.87). El modelo presenta un mejor ajuste en la zona superior. No presenta

6. Resultados y discusión

sobreestimación ni subestimación de los resultados ($CRM = 0$) aunque la dispersión de las estimaciones frente a la media de las medidas es algo mayor que en el resto de perfiles.

- **Parte química**
 - **CEe:** En general los perfiles presentan una correspondencia aceptable entre las observaciones y las estimaciones del modelo (EF perfil > 0.70). En los perfiles PRIII, PRV y PRVI el modelo se ajusta mejor en profundidad mientras que en el PRII y PRIV se ajusta peor en la zona intermedia. El perfil PRI presenta un mejor ajuste en la zona superior y el perfil PRVII presenta homogeneidad en el ajuste. Por otra parte se observa una subestimación en los resultados para los perfiles PRI, PRII, PRIII y PRV mientras que hay una sobreestimación en los perfiles PRIV, PRVI y en la zona inferior del perfil PRVII.
 - **RASe:** Las estimaciones del modelo no presentan variación a lo largo del periodo de validación y se encuentran por debajo de las observaciones. Los índices estadísticos indican una baja eficiencia del modelo en el cálculo del RAS y una gran dispersión de las estimaciones respecto de la media de las observaciones así como una subestimación de los resultado muy acusada.
- **Factores que pueden explicar las variaciones entre las observaciones y las estimaciones:**
 - La existencia de un porcentaje elevado de fragmentos gruesos que en algunos perfiles supera el 50% del total del suelo.
 - La ecuación de Richard's utiliza la fracción < 2 mm y no tiene en cuenta la fracción gruesa, lo que explicaría que las estimaciones den valores de humedad por encima de las observadas.
 - Cambios en la propiedades hidráulicas del suelo debidas a las prácticas agrícolas
 - Errores de la medida de humedad del perfil con la TDR por fallo en el contacto del suelo con el tubo de fibra de vidrio debido a la perturbación ocasionada en la instalación del tubo, al volumen de suelo considerado por el método, a la sensibilidad del instrumento a variaciones laterales de humedad (Knigth, 1992) y a los ruidos de fondo producidos por el paso de la señal en el cable (Sánchez-Pérez et al., 1999). En general, las alteraciones manifestadas en superficie se van amortiguando con la profundidad, actuando la matriz del suelo como un regulador de esos cambios y estructurando un fenómeno completamente aleatorio en superficie (Orihuela et al., 1999).
 - Las ecuaciones de crecimiento del cultivo están basadas en el cultivo del maíz, se trata de una planta anual y no de un árbol. Por otra parte los cítricos

además de presentar una distribución constante de las raíces también presentan un crecimiento secundario entre los meses mayo a julio y en septiembre. Esto provoca un aumento de la extracción de agua por las raíces y puede ser uno de los factores que expliquen la sobreestimación del modelo ya que no representa adecuadamente la distribución de las raíces de los cítricos.

- El modelo LEACHM es unidimensional y no tiene en cuenta las variaciones laterales, sin embargo los campos en los que se han abierto los perfiles presentan una gran heterogeneidad espacial. Esta heterogeneidad se representa en los mapas de conductividad obtenidos con EM38 (Cannon et al., 1994; Pepirol et al., 1999; Scanlon et al., 1999; Batlle-Sales et al., 2000). La medida de la CEa del suelo puede resultar muy útil para establecer las condiciones de homogeneidad del área de estudio y para la comprobación de las predicciones. Las predicciones del modelo LEACHM pueden corroborarse en tendencia con la información proporcionada por el EM38. Para hacer la información más densa, ésta puede interpolarse geoestadísticamente y los mapas obtenidos pueden ser comparados en el tiempo. Diferentes aproximaciones determinan estrategias optimizadas para el seguimiento de los cambios temporales de la información de la salinidad (Lesch et al., 1998; Rhoades et al., 1997).
- En la parte química hay que tener en cuenta además de los factores anteriores otros como es el método de extracción de las muestras y obtención de la solución del suelo. El método de extracción es un método destructivo, por tanto las medidas se realizan cada vez en un punto diferente. En cuanto al método de obtención de la solución se trata de un método indirecto a partir de muestras llevadas al laboratorio cuyos resultados difieren de los obtenidos a partir de métodos directos (Palacios et al., 1999).
- El modelo no tiene en cuenta la dispersión lateral y limita la dispersión longitudinal al intervalo dependiente del número de nodos. En suelos con textura franca a franco arcillosa la dispersividad toma valores entre 40-80 mm (Perfect et al., 2002), sin embargo al seleccionar un número de nodos igual a veinte los valores posibles de dispersividad se han tenido que reducir. Es importante tener en cuenta que los solutos se mueven principalmente por los fenómenos de dispersión, por tanto la dispersividad es un parámetro importante.
- Por último hay que considerar que la rutina de los carbonatos no se encuentra correctamente desarrollada ya que el modelo no refleja los cambios en la concentración de CO₂ (Suarez & Dudley, 1997). Modelizando la distribución espacial y el flujo de CO₂ se ha encontrado una correlación con parámetros específicos como la temperatura del aire, temperatura del suelo y el contenido de agua en el suelo (Ouyang & Boersma, 1992; Simunek & Suárez, 1993). Basado en ello, Simunek y Suárez desarrollaron el modelo SOILCO₂ con variables de flujo de agua en medio variablemente

6. Resultados y discusión

saturado, calor, transporte y producción biológica de CO₂. Estos mismos autores acoplaron el modelo SWMS-2D de transporte de solutos y flujo de agua en medio variablemente saturado (Simunek et al., 1992) con una versión expandida del modelo de especiación CARBCHEM (Suárez, 1997) y con el modelo de producción y transporte de CO₂ SOILCO₂ (Simunek & Suárez, 1993). El resultado es un modelo de transporte multicomponentes en medio poroso variablemente saturado, UNSATCHEM (Suárez & Simunek, 1997) y UNSATCHEM-2D (Simunek & Suárez, 1993b; Vargas & Rodríguez-Rodríguez, 2001). Este modelo representa una alternativa al modelo LEACHM pudiendo compararse los resultados entre ambos modelos. No obstante, la obtención del CO₂ y de las propiedades relacionadas como la actividad biológica y la temperatura en profundidad representan una dificultad de muestreo importante a tener en cuenta a la hora de validar el modelo.

6.2. Análisis de escenarios

Como consecuencia del carácter mediterráneo del clima del este de España es necesario establecer estrategias de riego adecuadas para prevenir el estrés hídrico durante los meses estivales y asegurar el sostenimiento de la producción.

El cultivo preferente en la zona de Torreblanca es el cultivo de cítricos, éstos presentan una gran sensibilidad a la salinidad, de manera que la calidad de las aguas de riego es un factor importante a tener en cuenta, para el rendimiento óptimo de las cosechas. Las condiciones adecuadas en el nivel de salinidad se encuentran en valores de $CE_e \leq 1.7$ dS/m, a partir de 2.3 dS/m se produce una disminución de la producción del 10% hasta llegar a una tasa de producción cero para valores de CE_e superiores a 8 dS/m (Pizarro, 1985).

La mayoría de pozos de riego se encuentran salinizados debido a la fuerte intrusión marina presente en la zona. La sobreexplotación de los acuíferos y las transformaciones de la zona pantanosa para la agricultura son las causas principales. Por ello las calidades de agua y el sistema de riego utilizado son dos aspectos fundamentales en la gestión de los campos de cultivo. El uso de aguas de baja calidad provoca de forma progresiva la salinización secundaria de los suelos y por tanto la disminución de la producción hasta el punto que en algunas zonas se observa el abandono de los cultivos o la sustitución con patrones más resistentes.

Las aguas de riego utilizadas en los campos seleccionados corresponden a las aguas de calidad W1 y W2. En ambos casos la CE_e se encuentra por debajo del nivel crítico. Sin embargo hay pozos con conductividades superiores al valor por encima del cual la productividad cae por debajo del 50% ($CE_e \geq 4.8$ dS/m), este es el caso de las aguas W7 y W8.

Tal como hemos visto valores de conductividad en el suelo, entre 2.3 – 4.8 dS/m, provocan una disminución de la productividad entre 10-50% según la fórmula de Mass-Hoffman (1977) para cítricos:

$$P = 100 - b(CE_e - a) \leq 100$$

donde, P es la producción expresada en porcentaje, CE_e corresponde a la conductividad eléctrica del extracto de saturación y a y b son dos parámetros específicos para cada cultivo, de manera que a expresa el valor umbral a partir del cual decrece la producción y b la pendiente de pérdida. Los valores de a y b para el cultivo de cítricos son 1.7 y 16.13 respectivamente (Pizarro, 1985).

El procedimiento del análisis de escenarios se ha descrito en el capítulo 4 y se compone de cuatro pasos:

- Cálculo de la composición de la mezcla de agua (riego+lluvia) con el programa CHEMEQ

6. Resultados y discusión

- Selección de la fracción de drenaje óptima para cada mezcla con el programa WATSUIT, las tablas de tolerancia de cultivos y la tabla de riesgos del suelo.
- Obtención del diseño de riego óptimo para cada tipo de suelo y fracción de drenaje con el programa CROPWAT
- Predicción del riesgo de salinización mediante la simulación con el modelo LEACHM

6.2.1. Composición de las mezclas de agua (CHEMEQ)

La tabla siguiente muestra la composición de las mezclas obtenidas por efecto de dilución por la lluvia para cada agua. Se desaconseja la utilización de las aguas W7 y W8 debido a su elevada salinidad, muy por encima del valor límite considerado (pérdida de producción > 50%). El agua W6 se encuentra en muy próxima al valor límite y se incluye en el análisis de escenarios.

Tabla 6.41. Composición de las mezclas de agua (riego+lluvia)

M ¹	W ²	R ³	P ⁴	CE dS/m	RAS	mmol/l						
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl	SO ₄ ²⁻	Alc.
W1_70R	1	0.70	0.30	0.48	0.44	3.18	1.01	0.63	0.00	1.51	0.28	3.02
W1_60R	1	0.60	0.40	0.41	0.40	2.72	0.86	0.54	0.00	1.30	0.24	2.59
W2_70R	2	0.70	0.30	0.85	1.55	4.27	1.60	2.66	0.00	4.91	0.63	3.00
W2_60R	2	0.60	0.40	0.73	1.44	3.66	1.37	2.28	0.00	4.21	0.54	2.57
W3_70R	3	0.70	0.30	1.34	2.92	5.24	2.38	5.69	0.06	9.04	1.19	3.15
W3_60R	3	0.60	0.40	1.15	2.70	4.49	2.04	4.88	0.05	7.75	1.02	2.70
W4_70R	4	0.70	0.30	2.06	3.09	10.11	2.62	7.79	0.04	16.76	1.07	2.73
W4_60R	4	0.60	0.40	1.76	2.86	8.66	2.24	6.68	0.04	14.36	0.92	2.34
W5_70R	5	0.70	0.30	2.81	5.20	9.25	4.84	13.79	0.20	20.85	2.32	4.91
W5_60R	5	0.60	0.40	2.41	4.81	7.93	4.15	11.82	0.17	17.87	1.99	4.21
W6_70R	6	0.70	0.30	3.81	8.11	9.20	6.22	22.53	0.12	32.37	2.90	2.80
W6_60R	6	0.60	0.40	3.26	7.51	7.88	5.33	19.31	0.10	27.74	2.48	2.40

¹M es la identificación de la mezcla de agua. ²W es la calidad de agua empleada en el riego. ³R es la fracción que corresponde al riego. ⁴P es la fracción que corresponde a las precipitaciones.

La calidad de agua 70R corresponde con la gestión de riego llevada a cabo en Torreblanca mientras que 60R corresponde con el diseño obtenido con el programa CROPWAT.

6.2.2. Selección de la fracción de drenaje mínima (WATSUIT)

Para seleccionar la fracción de drenaje mínima se ha calculado, para cada agua y mezcla de agua, los valores de CEe y RAS a diferentes fracciones de drenaje con el programa WATSUIT. Estos cálculos se han realizado forzando el equilibrio con calcita y sin equilibrio. No se han añadido enmiendas.

Los resultados obtenidos forzando el equilibrio con calcita y sin equilibrio son muy similares, además en todos los suelos el contenido en CaCO_3 es elevado, por ello se presentan las curvas que tienen en cuenta el equilibrio con calcita.

Las figuras 6.117-6.170 muestran la distribución de la salinidad, la sodicidad y los cloruros en la zona radicular para cada fracción de drenaje y agua.

Con los valores de la media del perfil de CEe, RAS y cloruros para cada fracción de drenaje (figuras 6.171-6.206) se han obtenido las curvas de riesgos de salinidad, sodicidad y toxicidad por cloruros. A partir de estas curvas se ha obtenido la fracción de drenaje mínima (tabla 6.42) teniendo en cuenta el nivel de tolerancia del cultivo ($\text{CEe} \leq 1.7 \text{ dS/m}$), el riesgo del suelo ($\text{RAS} \leq 10$) y la toxicidad por cloruros ($\text{Cl}^- \leq 10 \text{ meq/l}$ para patrones sensibles y $\text{Cl}^- \leq 25 \text{ meq/l}$ para patrones tolerantes).

Estas curvas de riesgos se han calculado para dos sistemas de riego: riego convencional o por inundación (riego infrecuente) y riego por goteo (riego frecuente). En el primer caso se han tomado los valores de la media del perfil mientras que en el segundo se han tomado los valores del potencial osmótico y la media del segmento superior tal como se describe en el capítulo 2.

6. Resultados y discusión

DISTRIBUCIÓN DE LA SALINIDAD EN LA ZONA RADICULAR W1 y W2

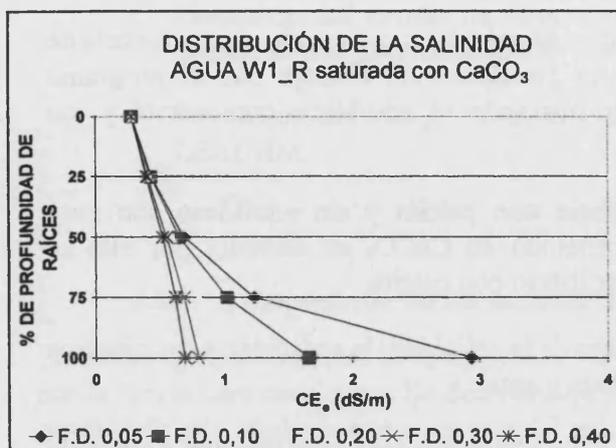


Figura 6.117

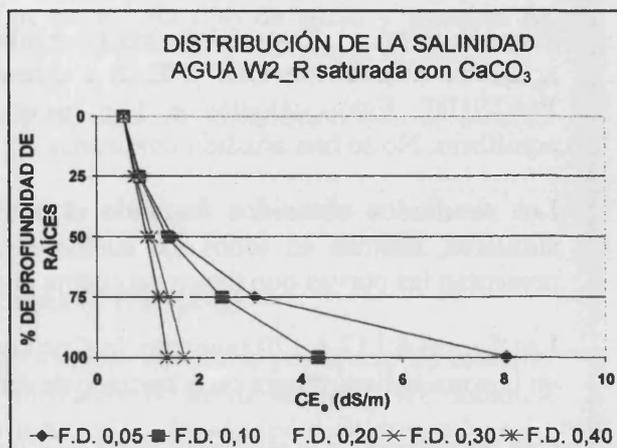


Figura 6.118

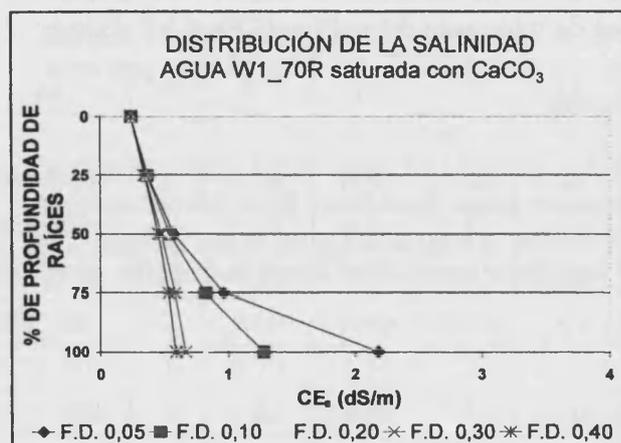


Figura 6.119

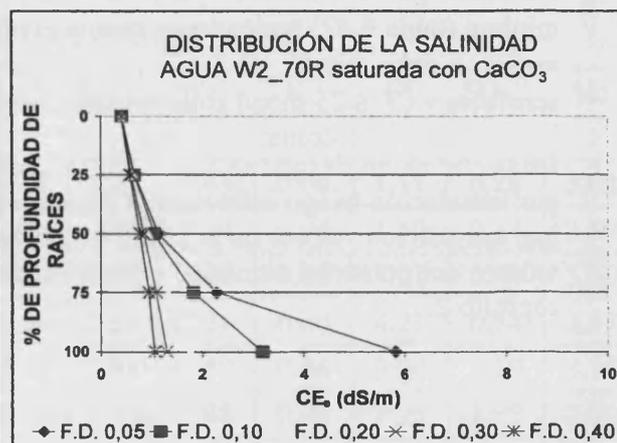


Figura 6.120

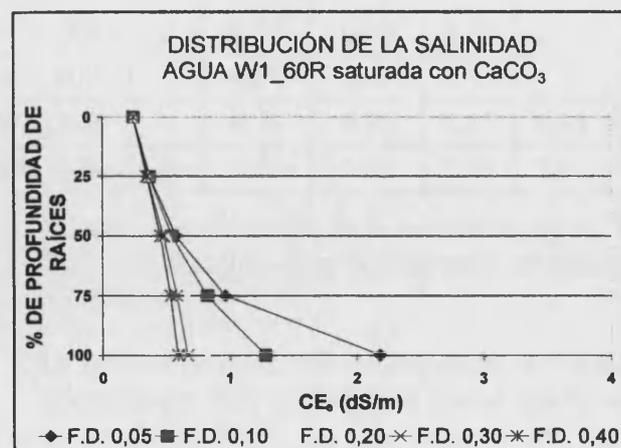


Figura 6.121

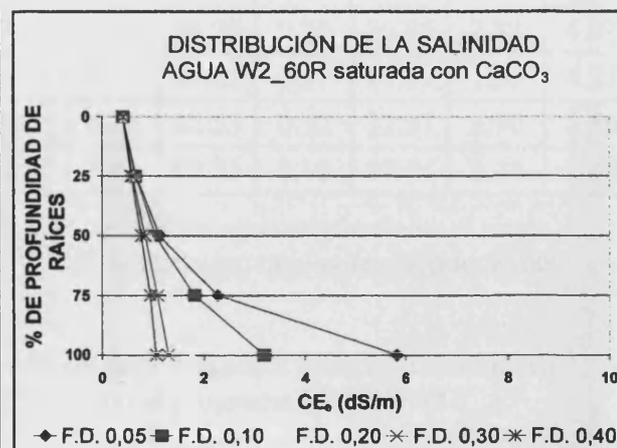


Figura 6.122

DISTRIBUCIÓN DE LA SALINIDAD EN LA ZONA RADICULAR W3 y W4

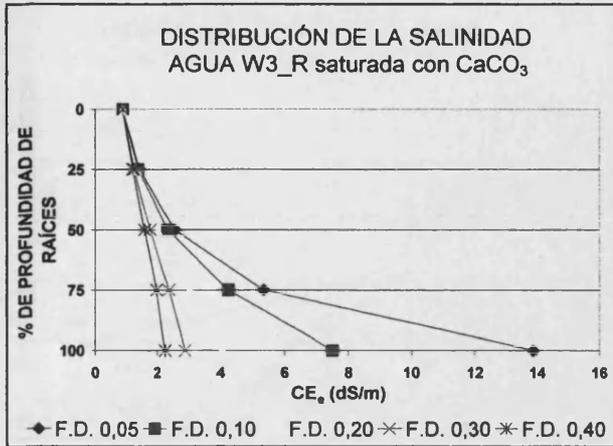


Figura 6.123

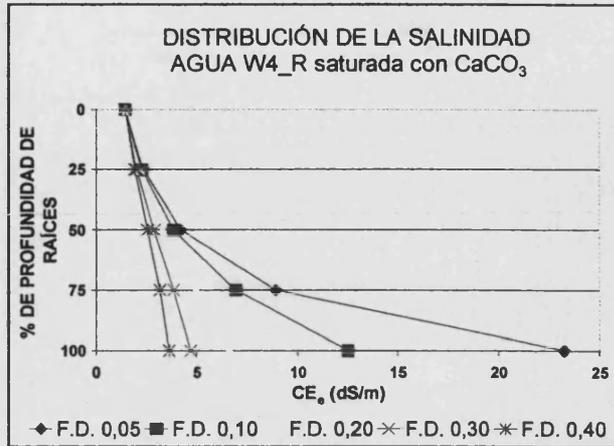


Figura 6.124

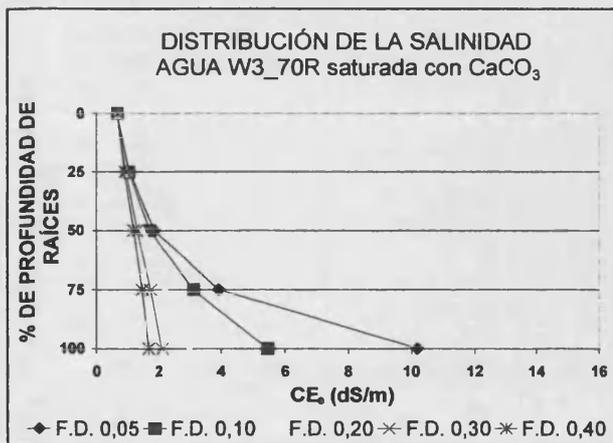


Figura 6.125

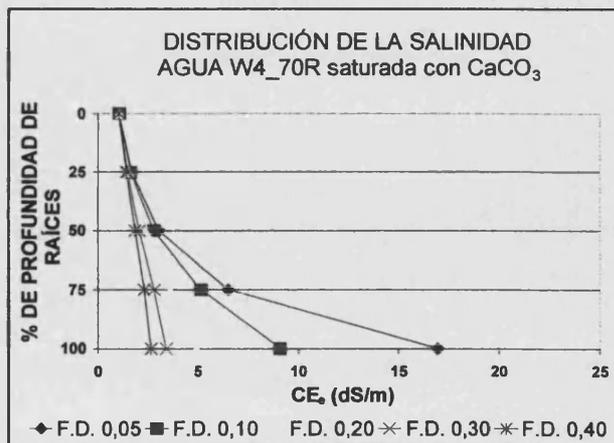


Figura 6.126

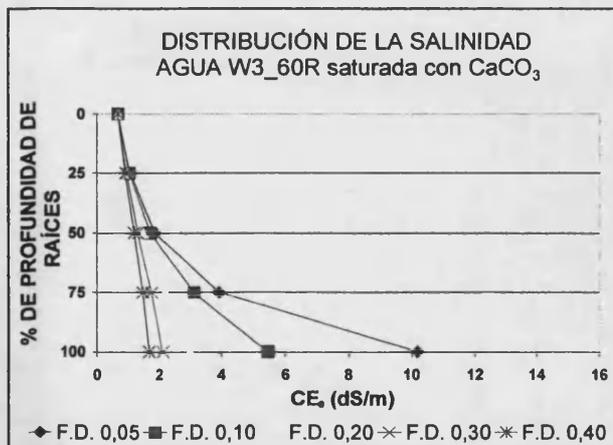


Figura 6.127

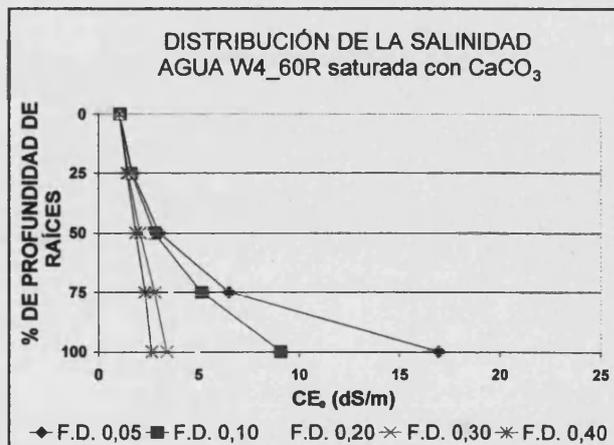


Figura 6.128

6. Resultados y discusión

DISTRIBUCIÓN DE LA SALINIDAD EN LA ZONA RADICULAR W5 y W6

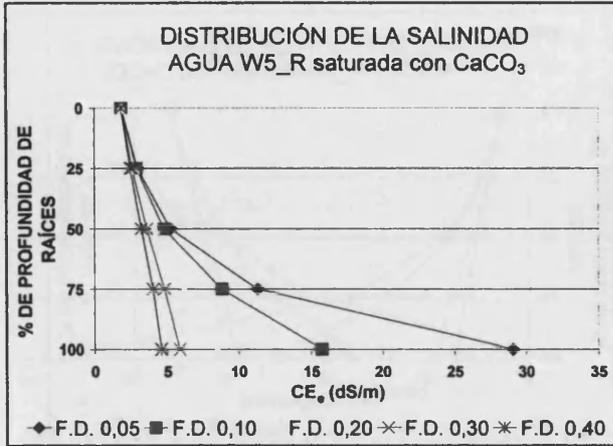


Figura 6.129

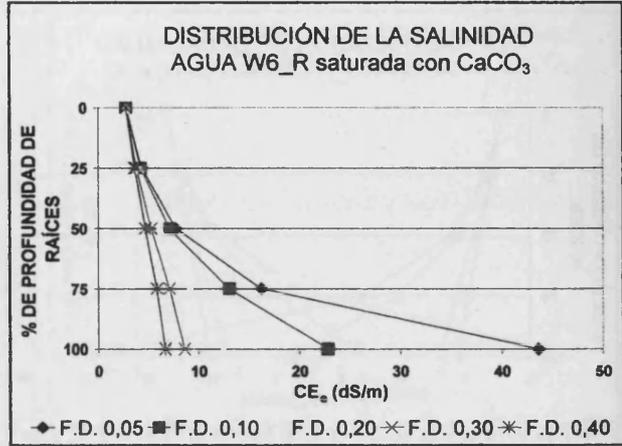


Figura 6.130

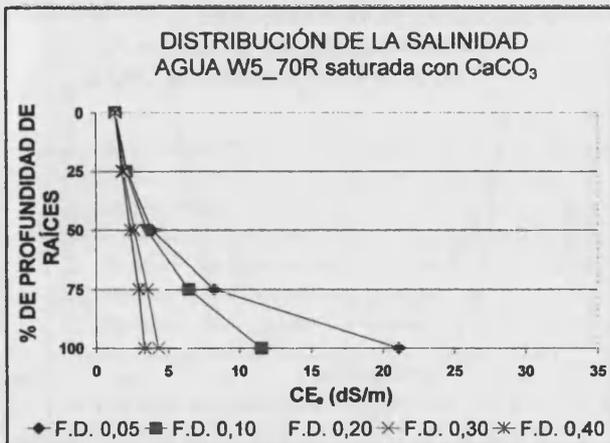


Figura 6.131

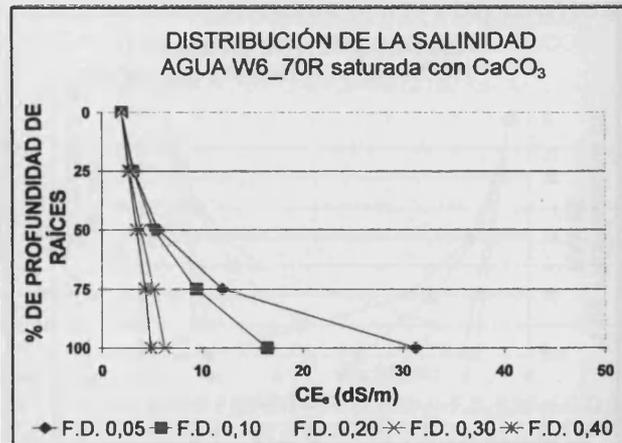


Figura 6.132

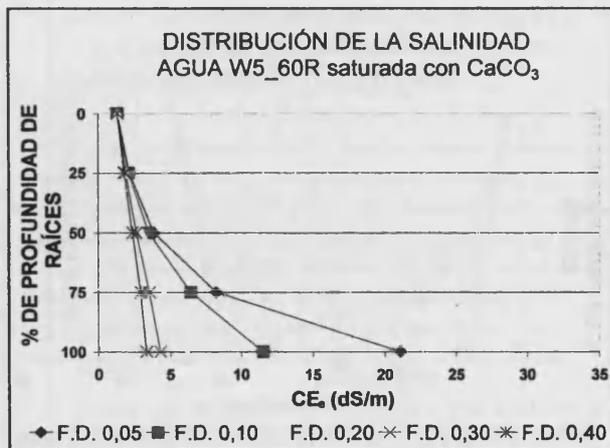


Figura 6.133

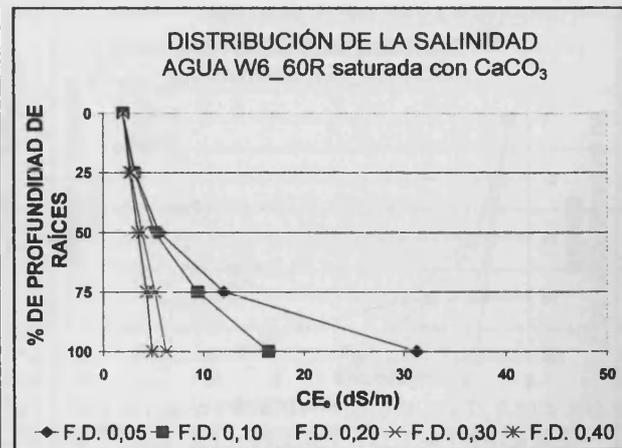


Figura 6.134

DISTRIBUCIÓN DE LA SODICIDAD EN LA ZONA RADICULAR W1 y W2

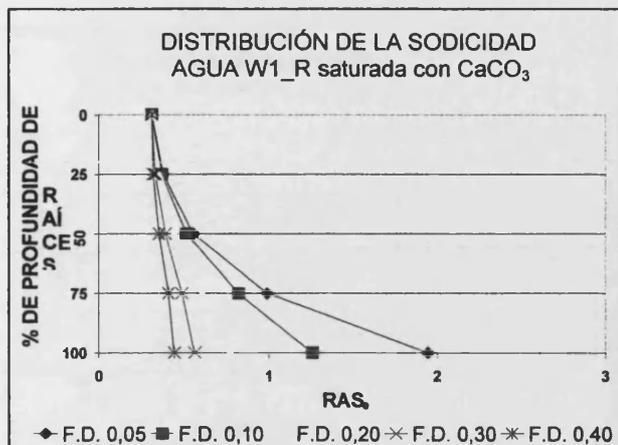


Figura 6.135

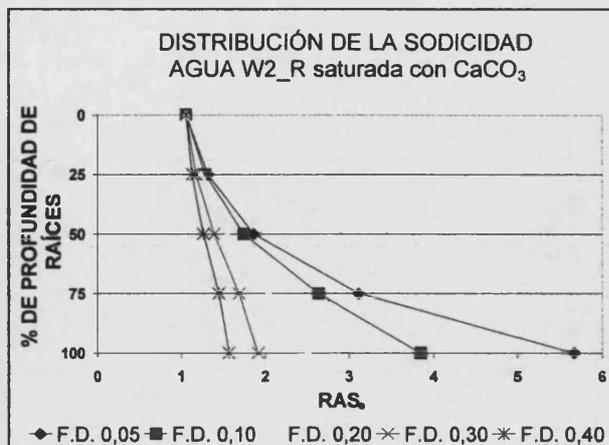


Figura 6.136

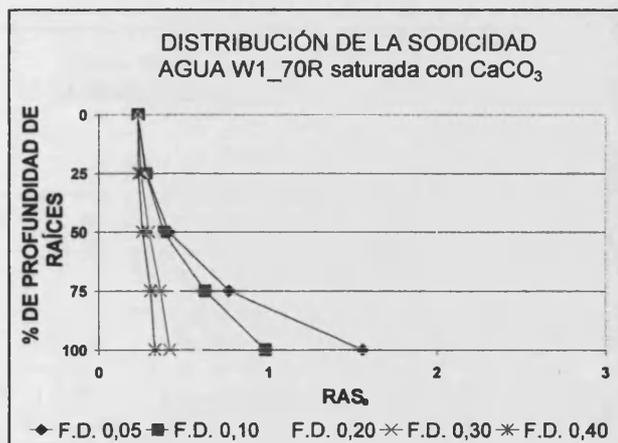


Figura 6.137

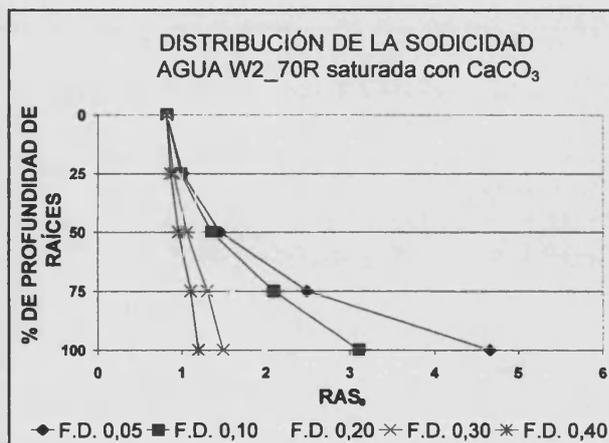


Figura 6.138

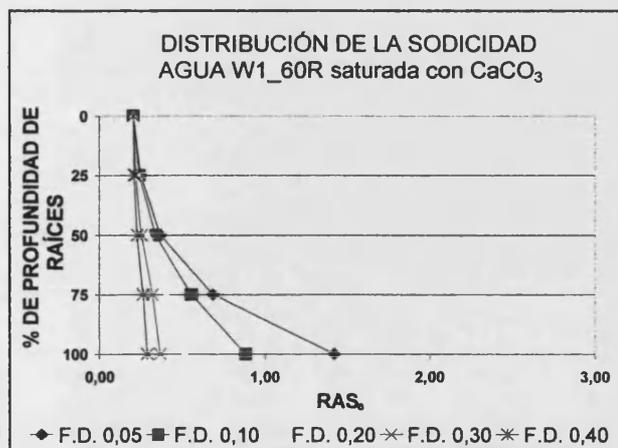


Figura 6.139

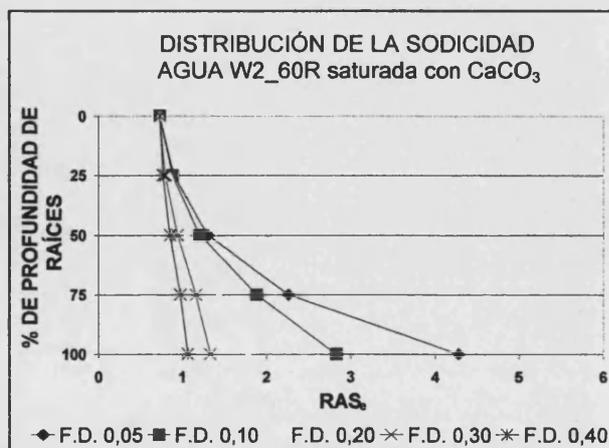


Figura 6.140

6. Resultados y discusión

DISTRIBUCIÓN DE LA SODICIDAD EN LA ZONA RADICULAR W3 y W4

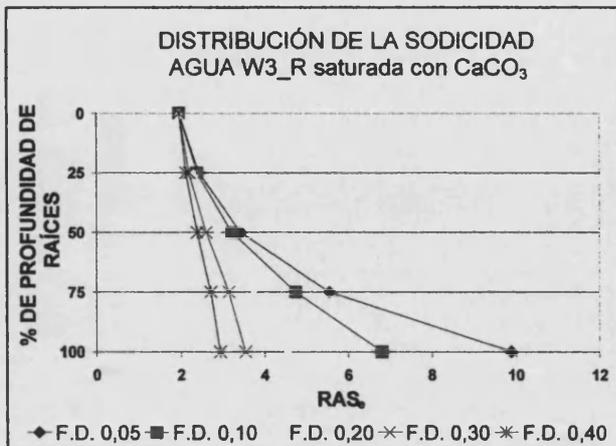


Figura 6.141

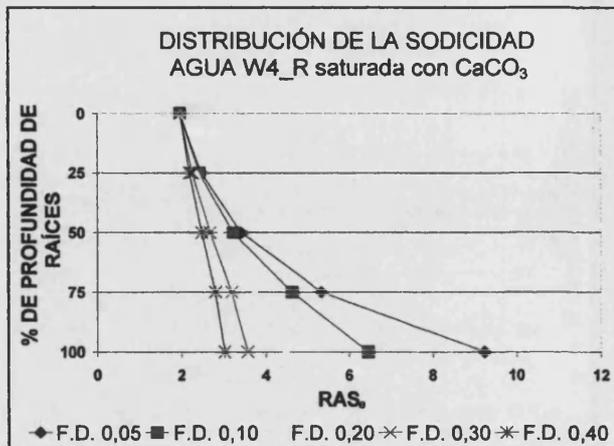


Figura 6.142

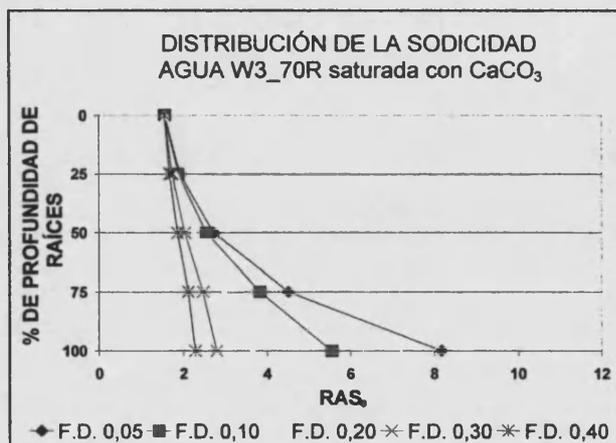


Figura 6.143

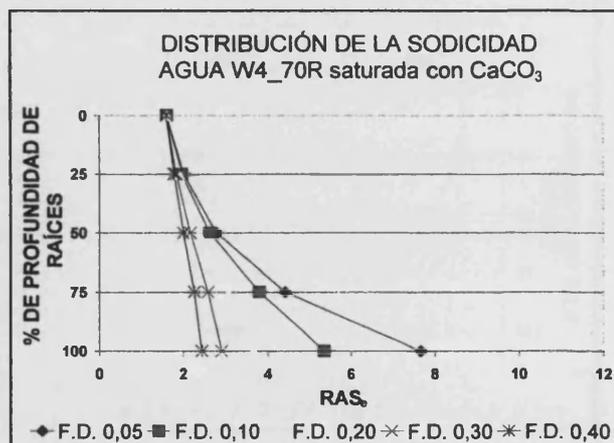


Figura 6.144

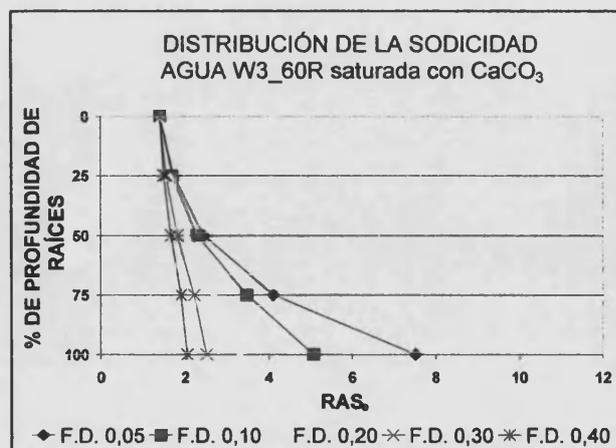


Figura 6.145

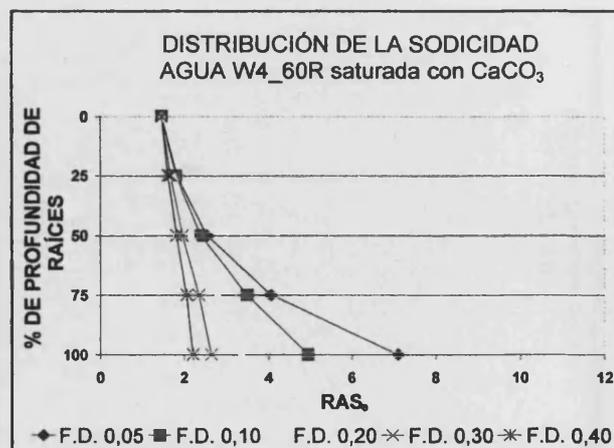


Figura 6.146

DISTRIBUCIÓN DE LA SODICIDAD EN LA ZONA RADICULAR W5 y W6

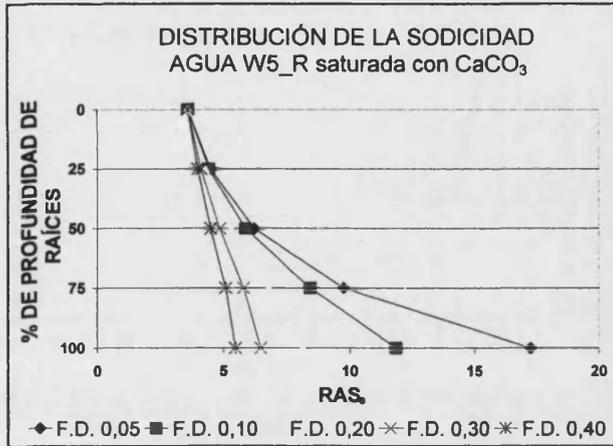


Figura 6.147

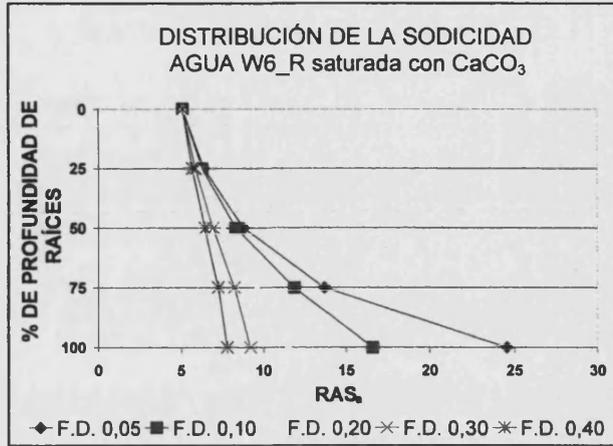


Figura 6.148

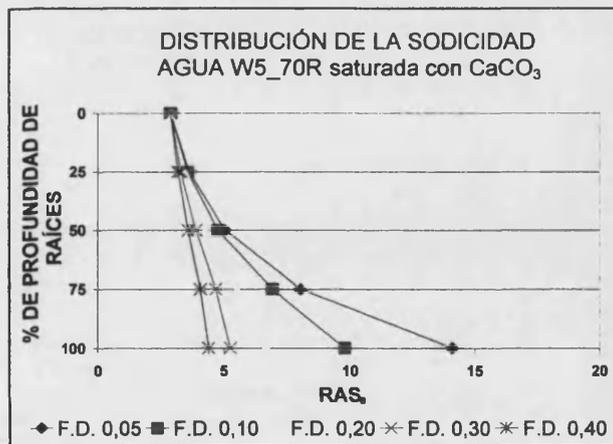


Figura 6.149

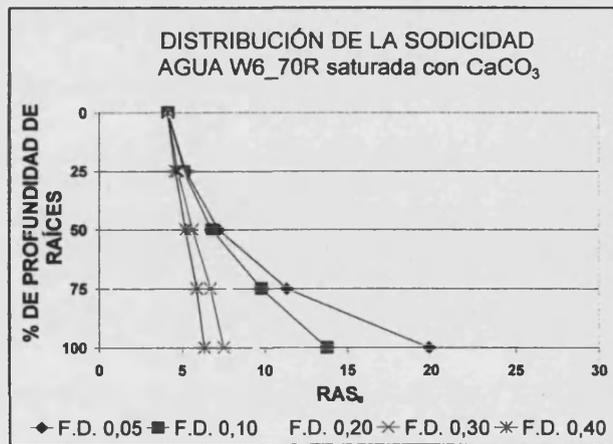


Figura 6.150

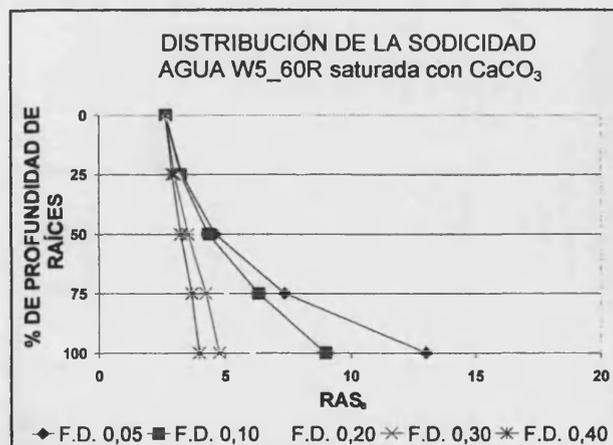


Figura 6.151

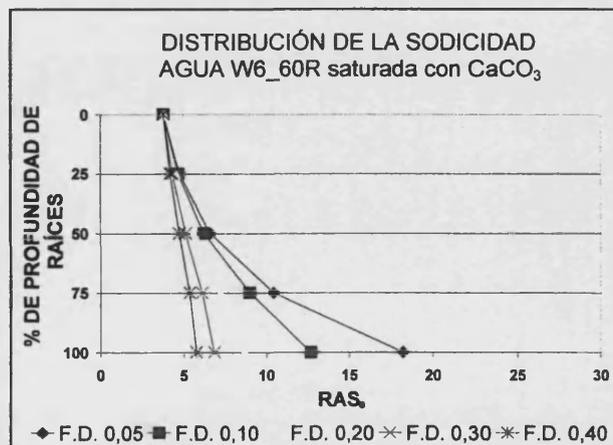


Figura 6.152

6. Resultados y discusión

DISTRIBUCIÓN DE LOS CLORUROS EN LA ZONA RADICULAR W1 y W2

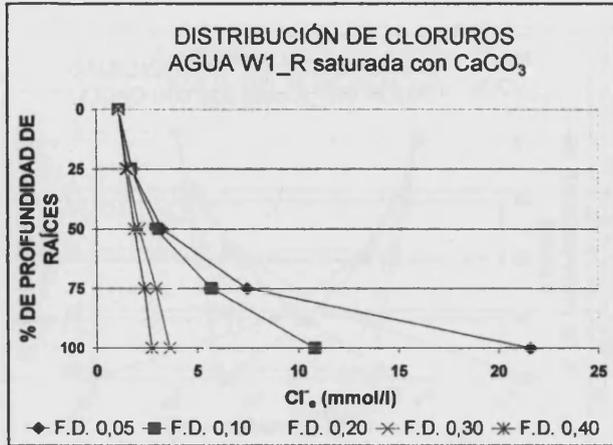


Figura 6.153

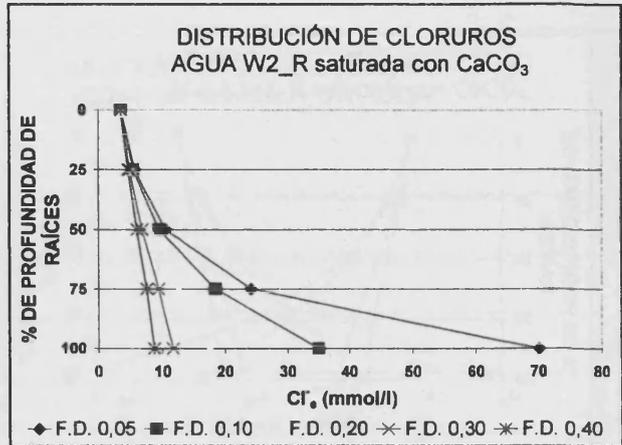


Figura 6.154

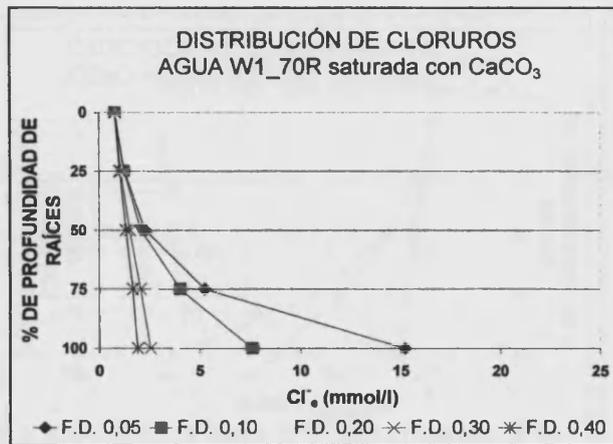


Figura 6.155

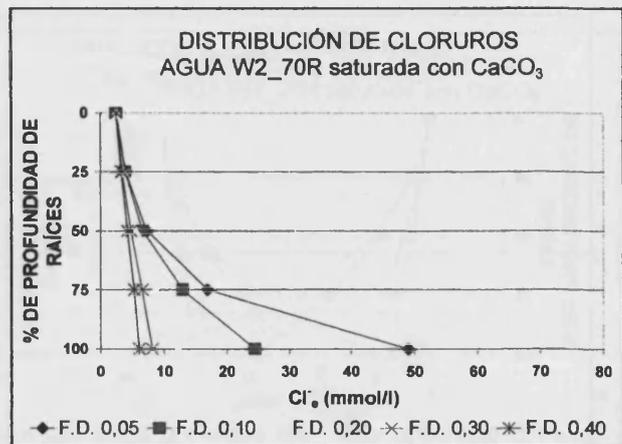


Figura 6.156

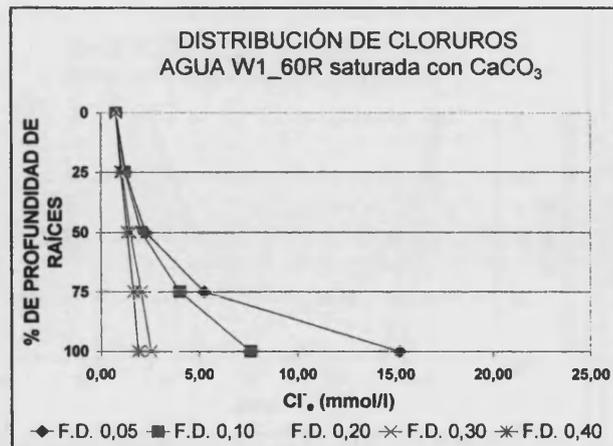


Figura 6.157

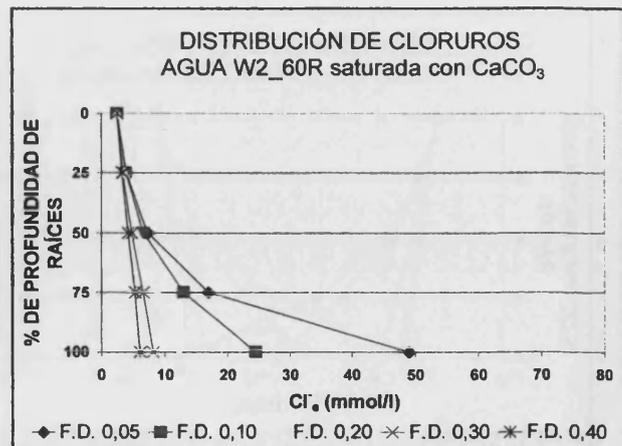


Figura 6.158

DISTRIBUCIÓN DE LOS CLORUROS EN LA ZONA RADICULAR W3 y W4

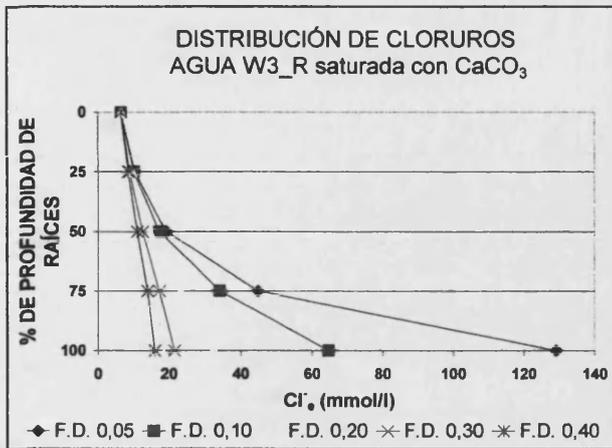


Figura 6.159

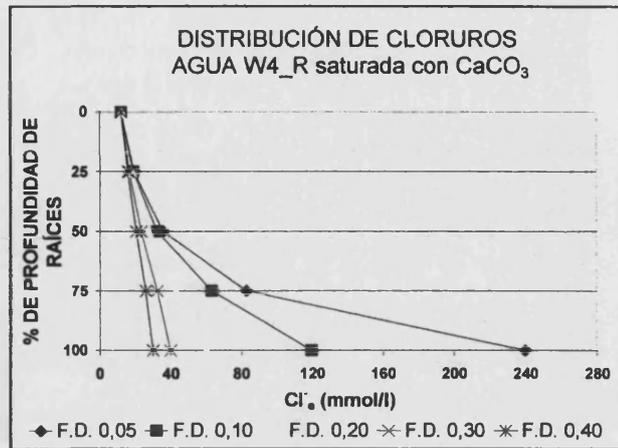


Figura 6.160

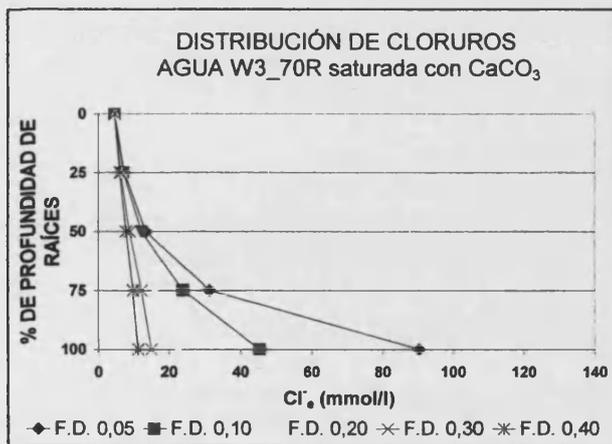


Figura 6.161

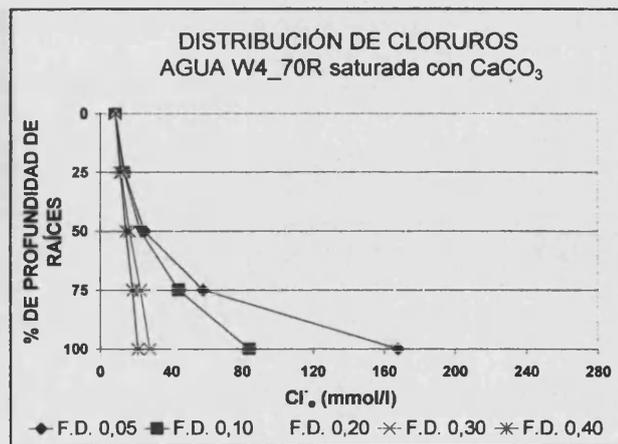


Figura 6.162

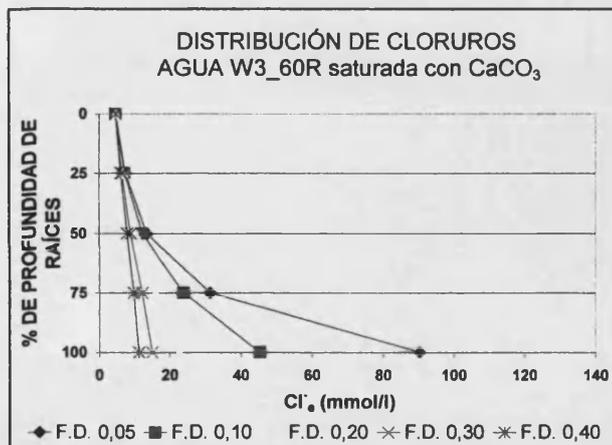


Figura 6.163

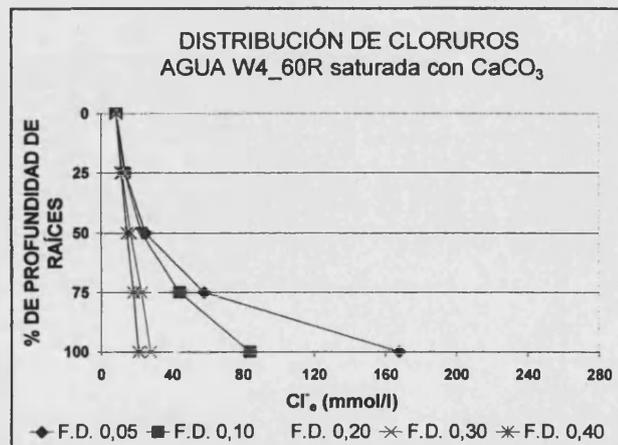


Figura 6.164

6. Resultados y discusión

DISTRIBUCIÓN DE LOS CLORUROS EN LA ZONA RADICULAR W5 y W6

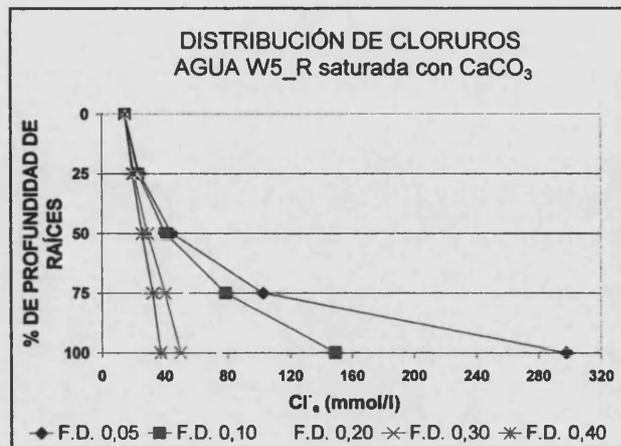


Figura 6.165

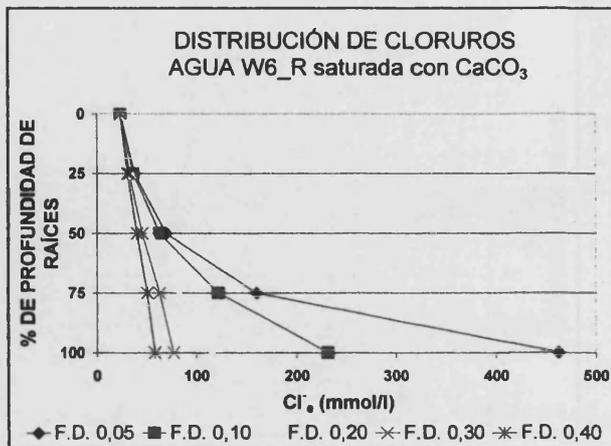


Figura 6.166

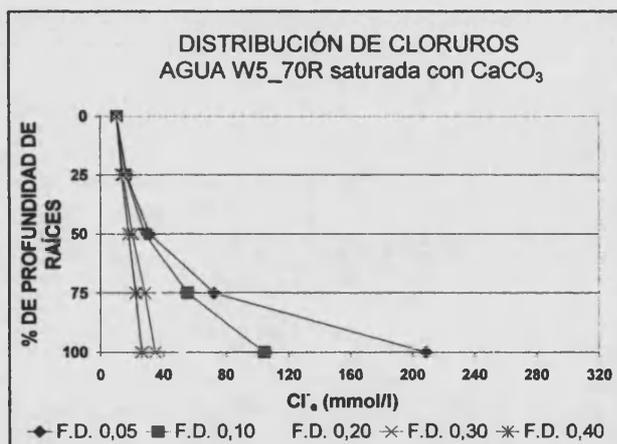


Figura 6.167

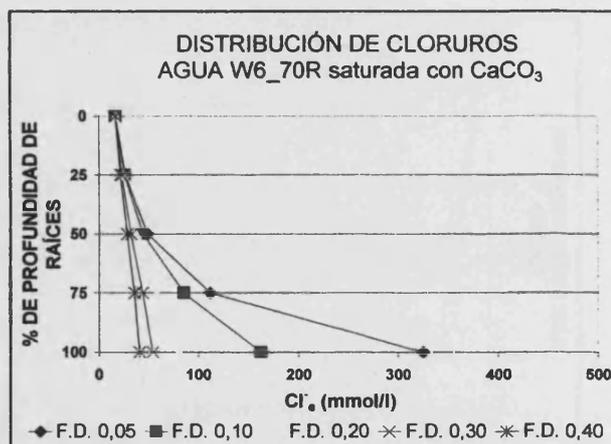


Figura 6.168

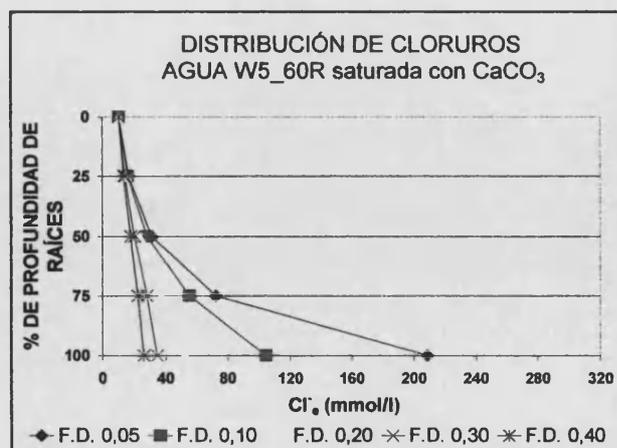


Figura 6.169

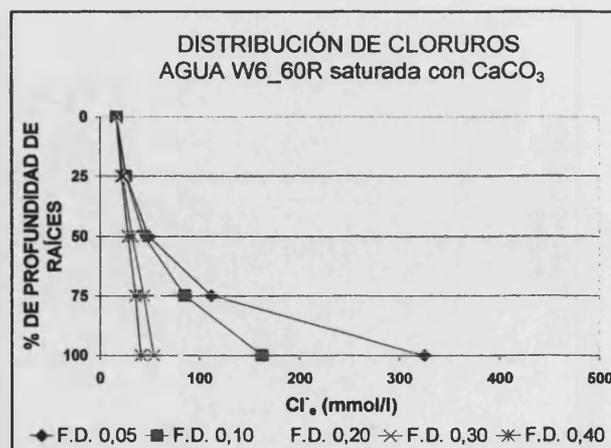


Figura 6.170

Discusión sobre la distribución de la salinidad, sodicidad y cloruros en la zona radicular

- Distribución de la salinidad:
 - W1: Se observa que cuando la fracción de drenaje es de 0.05 se produce una acumulación de sales en la zona de drenaje de la zona radicular. En esta zona no hay extracción de agua por tanto las plantas se ven poco afectadas pese a que la fracción de drenaje sea inexistente.
 - W2: La acumulación de sales por encima del valor umbral ($CE=1.7$ dS/m) se produce en la zona inferior de la zona radicular para fracciones de drenaje por debajo de 0.10. En esta zona se produce el 10% de la extracción de agua por lo que las plantas se pueden ver ligeramente afectadas por la salinidad.
 - W3: A partir de la zona donde la extracción de agua por la raíces es del 50% se produce una concentración de sales que afecta severamente a las plantas sobre todo con fracciones de drenaje inferiores a 0.30.
 - W4, W5 y W6: En todos los casos la concentración de sales en toda la zona radicular es superior al valor umbral incluso con fracciones de drenaje elevadas.
- Distribución de la sodicidad:
 - W1, W2, W3 y W4: No se produce problema de sodicidad en el suelo incluso con fracciones de drenaje inferiores a 0.05.
 - W5 y W6: El riesgo de sodicidad aparece en la zona inferior de la zona radicular y por tanto no afecta severamente al suelo ya que la salinidad es un factor de riesgo mayor.
- Distribución de los cloruros:
 - W1: No presenta riesgo para las especies tolerantes ni para las sensibles.
 - W2: No presenta riesgo para las especies tolerantes con fracciones de drenaje superiores a 0.05 aunque si presenta un riesgo importante en especies sensibles cuando la fracción de drenaje es menor a 0.10 ya que se acumulan en la zona inferior de la zona radicular.
 - W3: Para las especies tolerantes se requiere una fracción de drenaje superior a 0.20 ya que se produce una acumulación en la zona inferior de la zona radicular. En el caso de especies sensibles el riesgo de toxicidad por cloruros se produce incluso con fracciones de drenaje superiores a 0.40.
 - W4, W5 y W6: Tanto para las especies tolerantes como para las especies sensibles la concentración de cloruros es superior al valor tolerado por las plantas en toda la zona radicular.

6. Resultados y discusión

CURVAS DE RIESGOS PARA RIEGO CONVENCIONAL Y RIEGO POR GOTEO W1

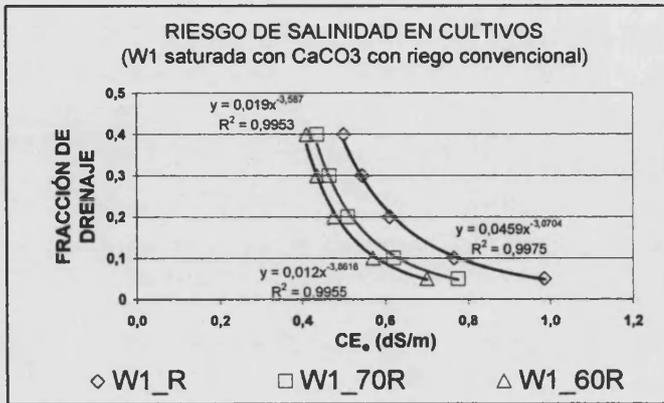


Figura 6.171

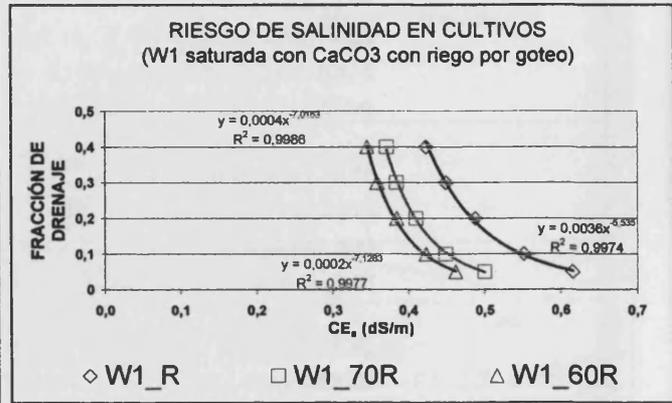


Figura 6.172

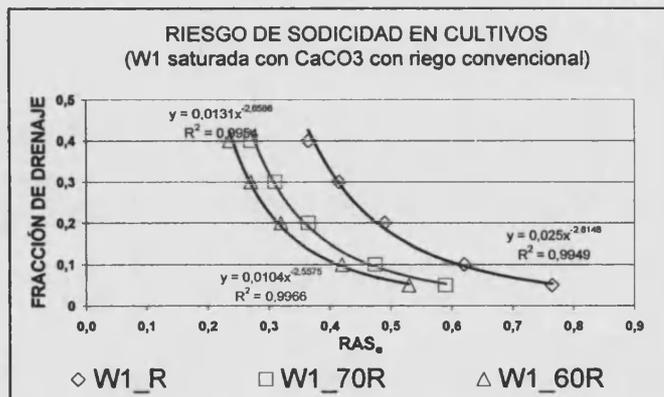


Figura 6.173

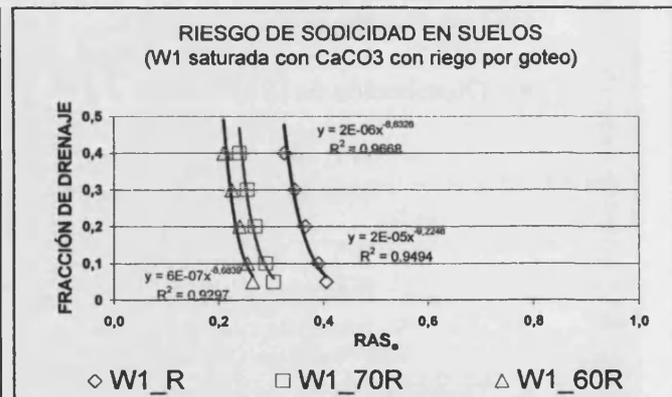


Figura 6.174

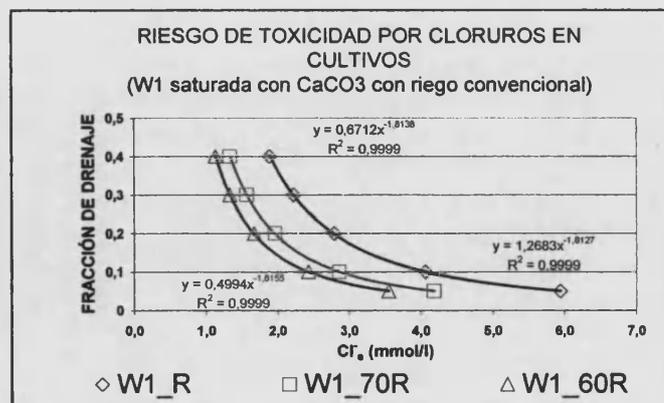


Figura 6.175

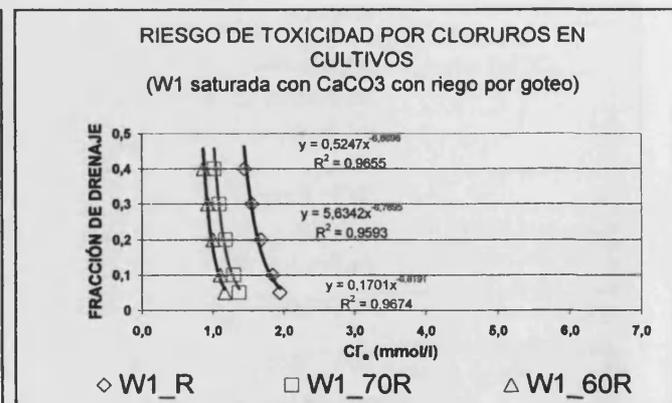


Figura 6.176

6. Resultados y discusión

CURVAS DE RIESGOS PARA RIEGO CONVENCIONAL Y RIEGO POR GOTEO W2

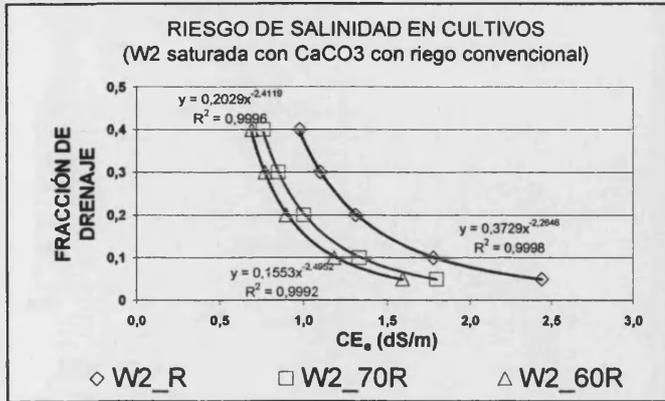


Figura 6.177

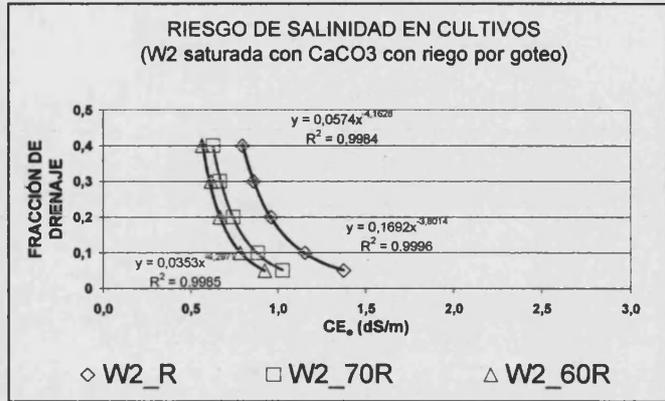


Figura 6.178

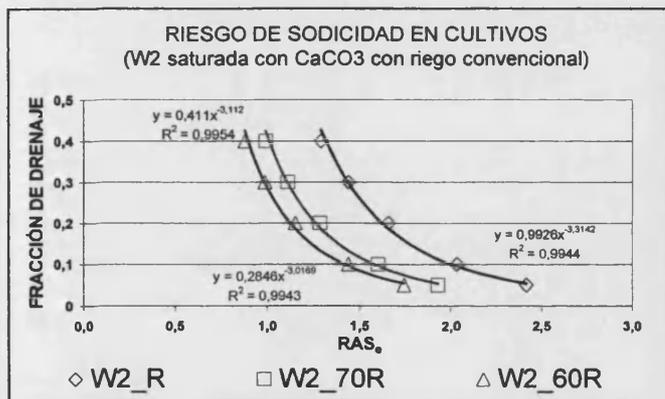


Figura 6.179

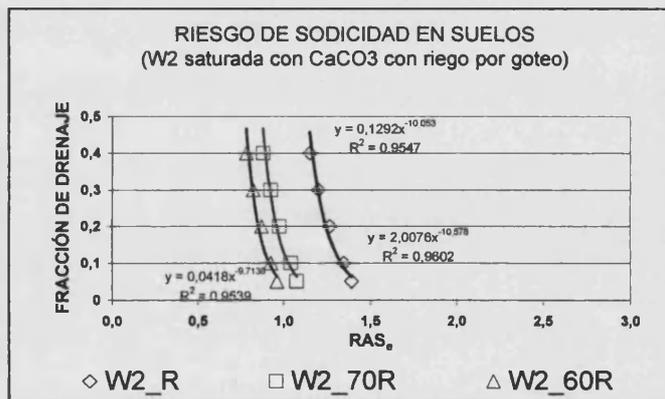


Figura 6.180

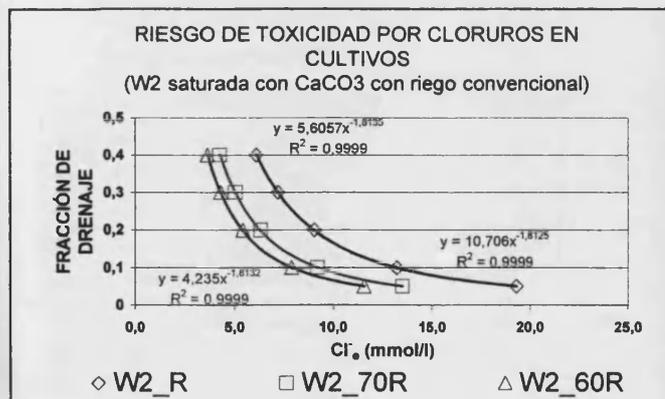


Figura 6.181

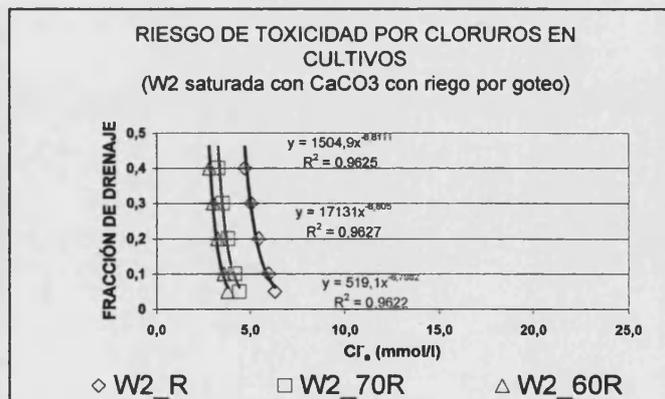


Figura 6.182

6. Resultados y discusión

CURVAS DE RIESGOS PARA RIEGO CONVENCIONAL Y RIEGO POR GOTEO W3

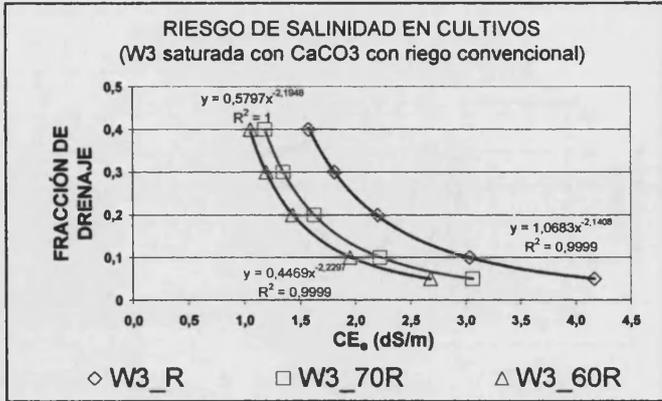


Figura 6.183

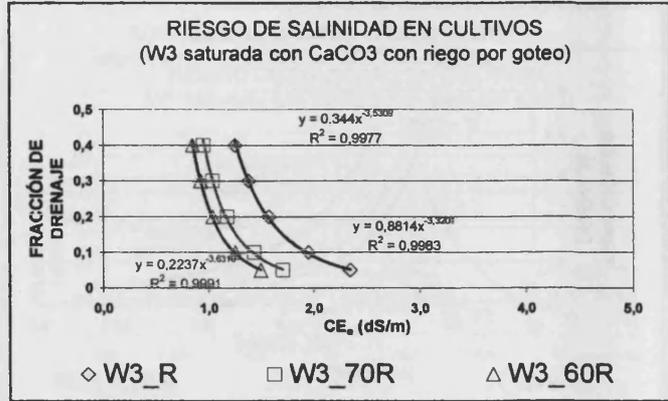


Figura 6.184

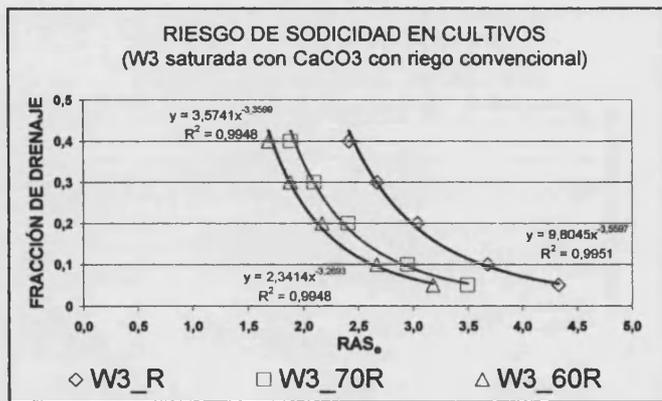


Figura 6.185

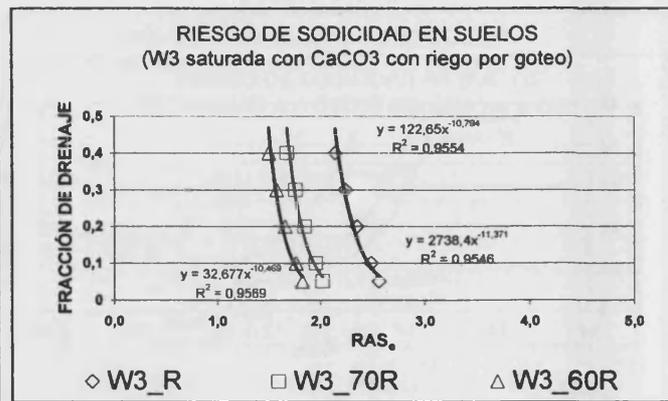


Figura 6.186

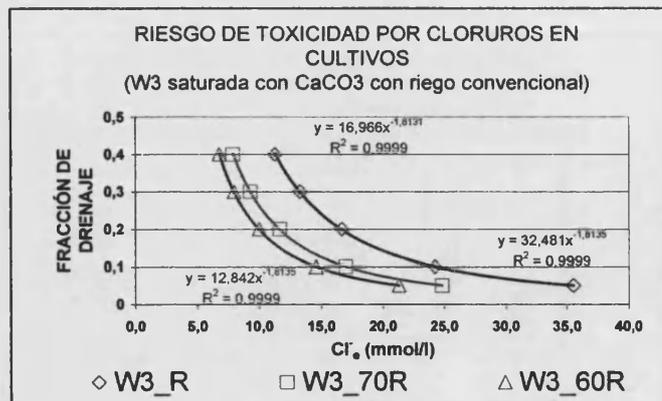


Figura 6.187

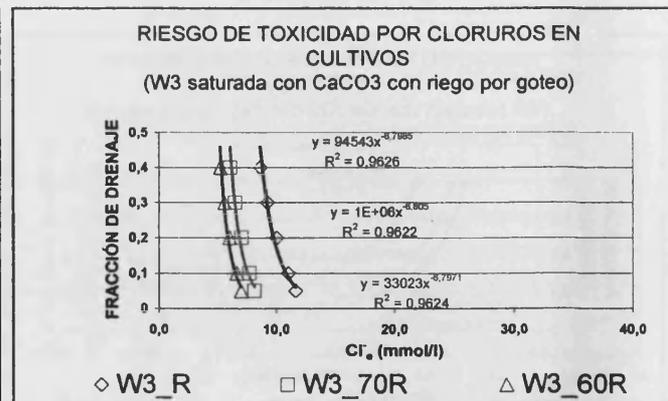


Figura 6.188

CURVAS DE RIESGOS PARA RIEGO CONVENCIONAL Y RIEGO POR GOTEO W4

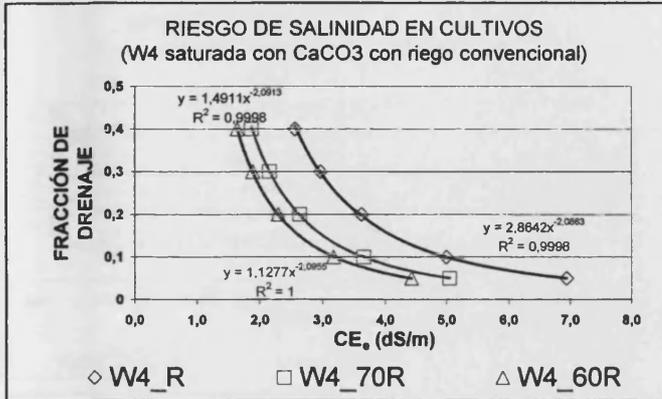


Figura 6.189

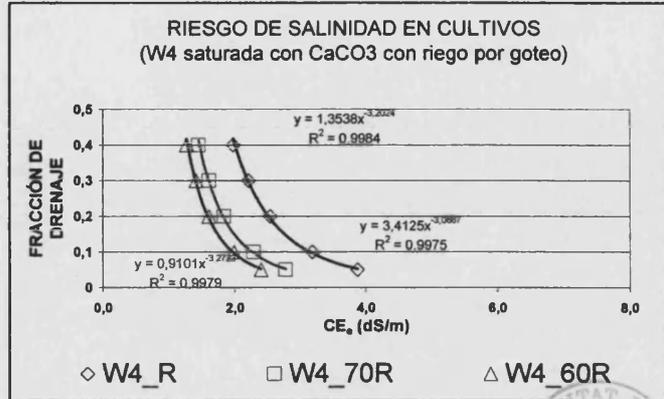


Figura 6.190

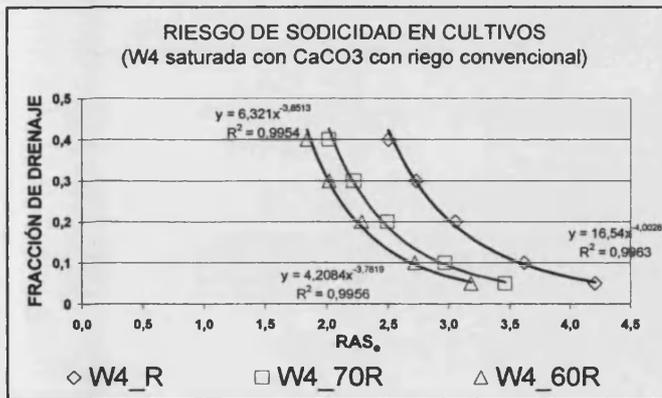


Figura 6.191

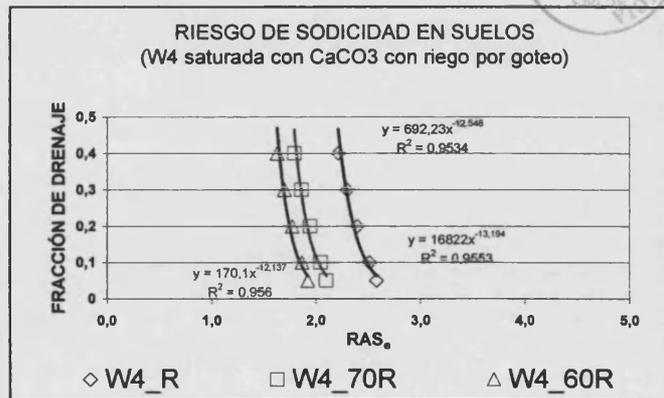


Figura 6.192

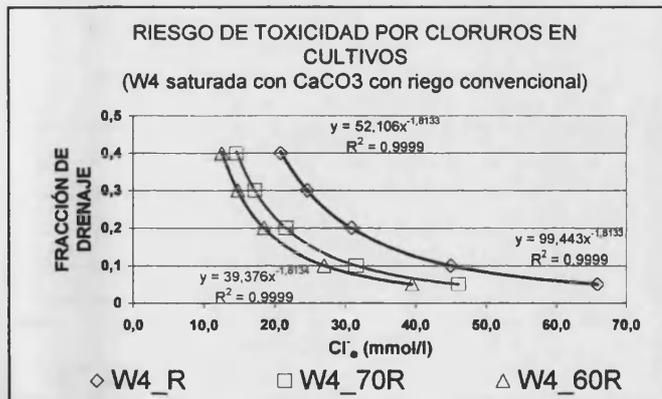


Figura 6.193

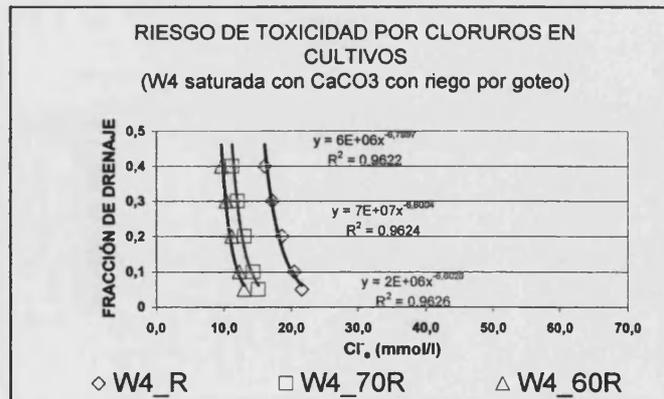


Figura 6.194

6. Resultados y discusión

CURVAS DE RIESGOS PARA RIEGO CONVENCIONAL Y RIEGO POR GOTEO W5

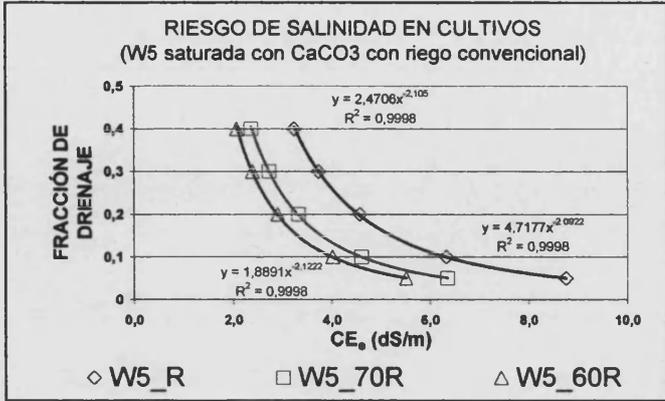


Figura 6.195

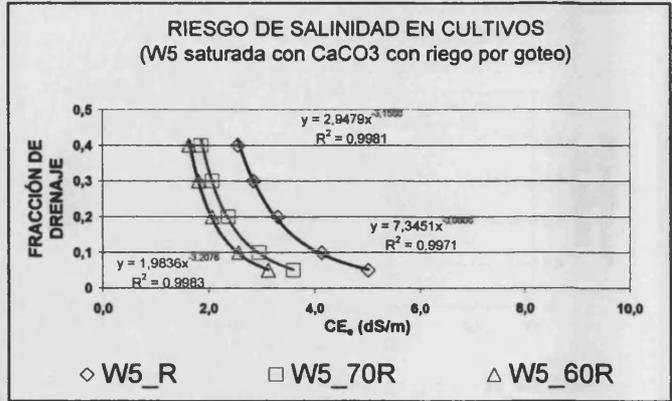


Figura 6.196

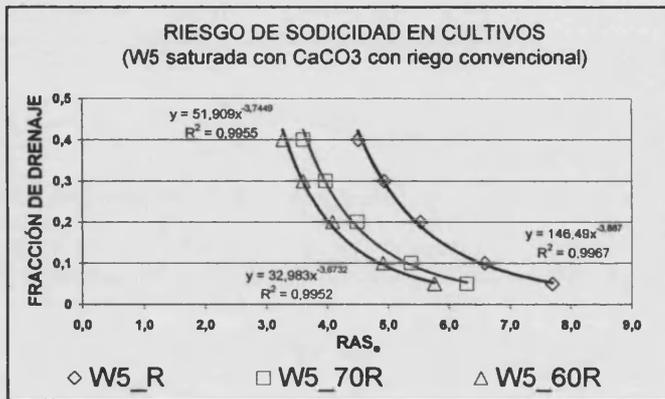


Figura 6.197

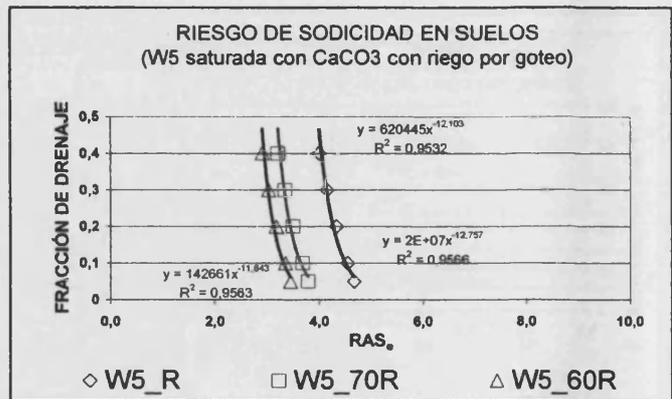


Figura 6.198

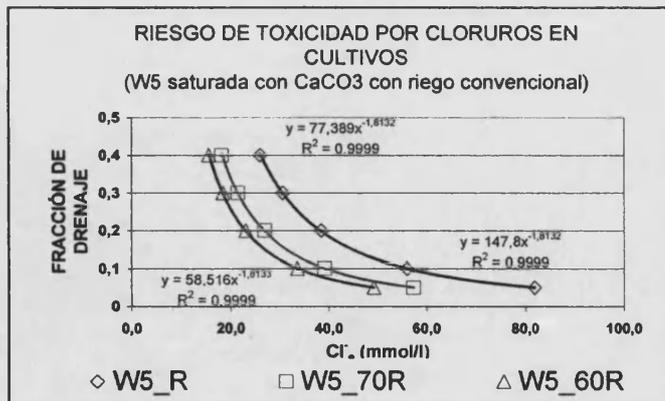


Figura 6.199

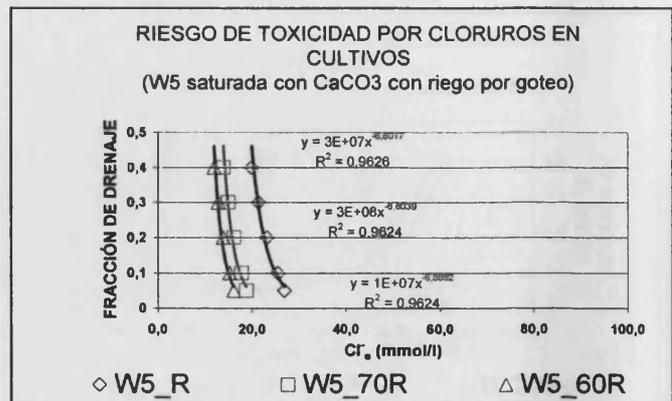


Figura 6.200

CURVAS DE RIESGOS PARA RIEGO CONVENCIONAL Y RIEGO POR GOTEO W6

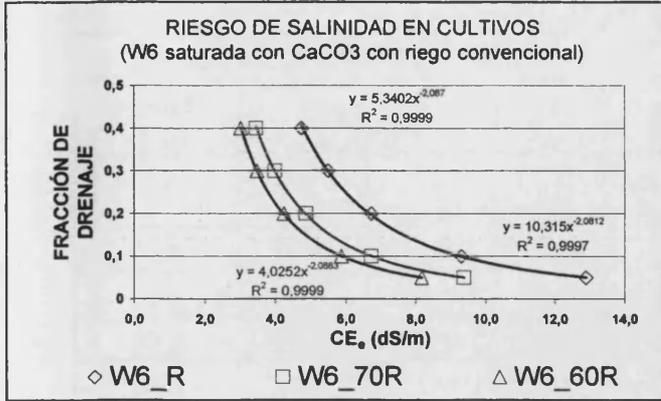


Figura 6.201

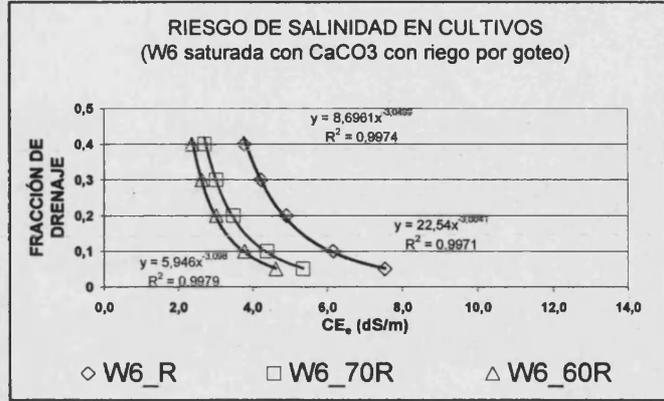


Figura 6.202

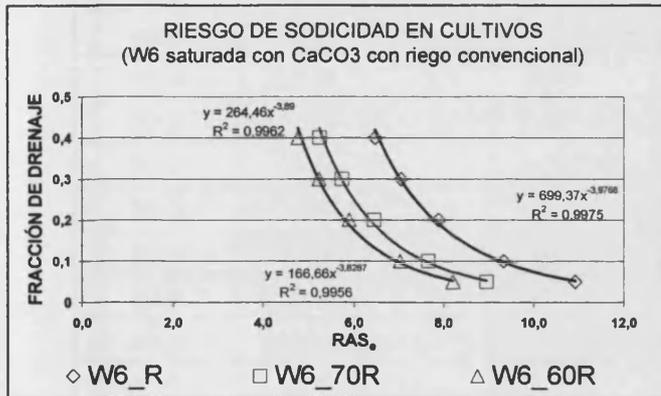


Figura 6.203

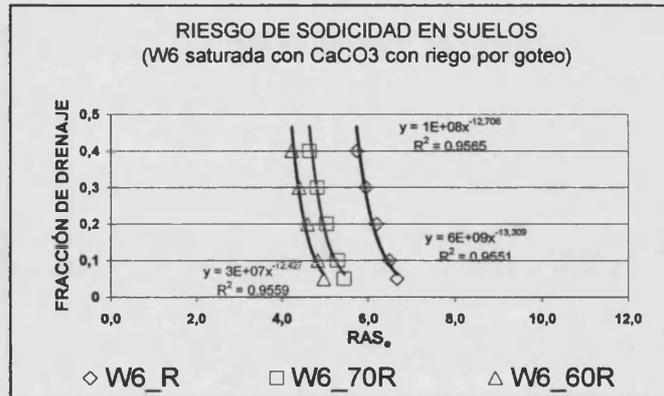


Figura 6.204

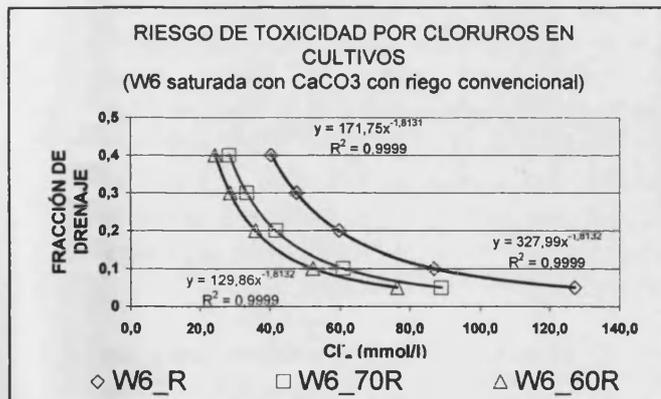


Figura 6.205

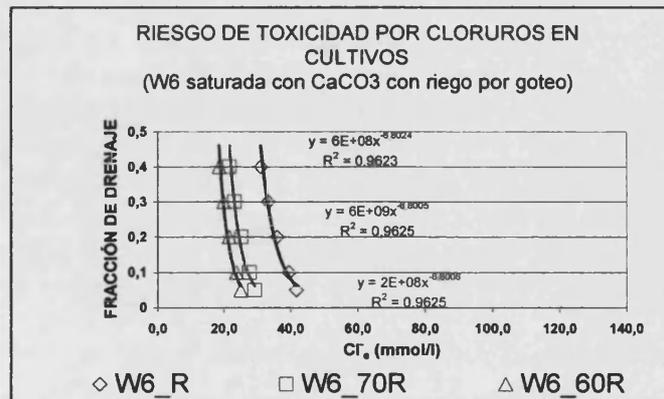


Figura 6.206

6. Resultados y discusión

Tabla 6.42. Fracción de drenaje mínima según tablas de tolerancia de cultivo, toxicidad por cloruros y riesgo del suelo en riego convencional y riego por goteo.

FRACCIÓN DE DRENAJE MÍNIMA								
CALIDAD AGUA	RIEGO CONVENCIONAL				RIEGO POR GOTEO			
	Tol. Cult.	Tox. Clor. Cultivos		Riesgo suelo	Tol. Cult.	Tox. Clor. Cultivos		Riesgo suelo
	CE 1.7 dS/m	Sensib. 10 mmol/l	Toler. 25 mmol/l	RAS 10	CE 1.7 dS/m	Sensib. 10 mmol/l	Toler. 25 mmol/l	RAS 10
W1	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W1 70R	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W1 60R	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.11	0.16	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
W2 70R	0.06	0.09	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
W2 60R	0.04	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.34	0.50	0.09	0.00	0.15	0.16	0.00	0.00
W3 70R	0.18	0.26	0.05	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00
W3 60R	0.14	0.20	0.04	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00
W4	0.95	> 1	0.29	0.00	0.66	> 1	0.02	0.00
W4 70R	0.49	0.80	0.15	0.00	0.25	0.95	0.00	0.00
W4 60R	0.37	0.61	0.11	0.00	0.16	0.31	0.00	0.00
W5	> 1	> 1	0.43	0.02	> 1	> 1	0.09	0.00
W5 70R	0.81	> 1	0.23	0.01	0.55	> 1	0.01	0.00
W5 60R	0.61	0.90	0.17	0.01	0.36	> 1	0.00	0.00
W6	> 1	> 1	0.96	0.07	> 1	> 1	> 1	0.00
W6 70R	> 1	> 1	0.50	0.03	> 1	> 1	0.19	0.00
W6 60R	> 1	> 1	0.38	0.02	> 1	> 1	0.06	0.00

Se observa que el factor limitante, en las especies de cítricos sensibles, es la toxicidad por cloruros frente al resto de factores. Sin embargo, si consideramos como patrón del cultivo las especies tolerantes encontramos que el factor limitante pasa a ser la CEE. Por otra parte se observa que el riesgo de sodicidad en los suelos de Torreblanca es muy bajo para las aguas consideradas (W1-W6). Los resultados evidencian que el agua W1 puede ser utilizada sin restricción ya que no comporta ningún riesgo para el cultivo ni el suelo, el agua W2 requiere de fracciones de drenaje de al menos 0.11 y el agua W3 necesita fracciones de drenaje superiores a 0.34. Las calidades W4, W5 y W6 comportan un riesgo elevado de salinidad y toxicidad por cloruros pero no de sodicidad del suelo.

En el análisis de escenarios se ha considerado la fracción de drenaje mínima, para las especies tolerantes, obtenida con las curvas de CEE en equilibrio con calcita en los casos de cosecha con y sin pérdidas y las calidades de agua teniendo en cuenta el efecto de dilución por la lluvia y sin dilución. (gráficas 6.207-214).

FRACCIÓN MÍNIMA DE DRENAJE PARA CADA AGUA ADMITIENDO PÉRDIDA DE COSECHA EN RIEGO CONVENCIONAL Y GOTEO (W_R)

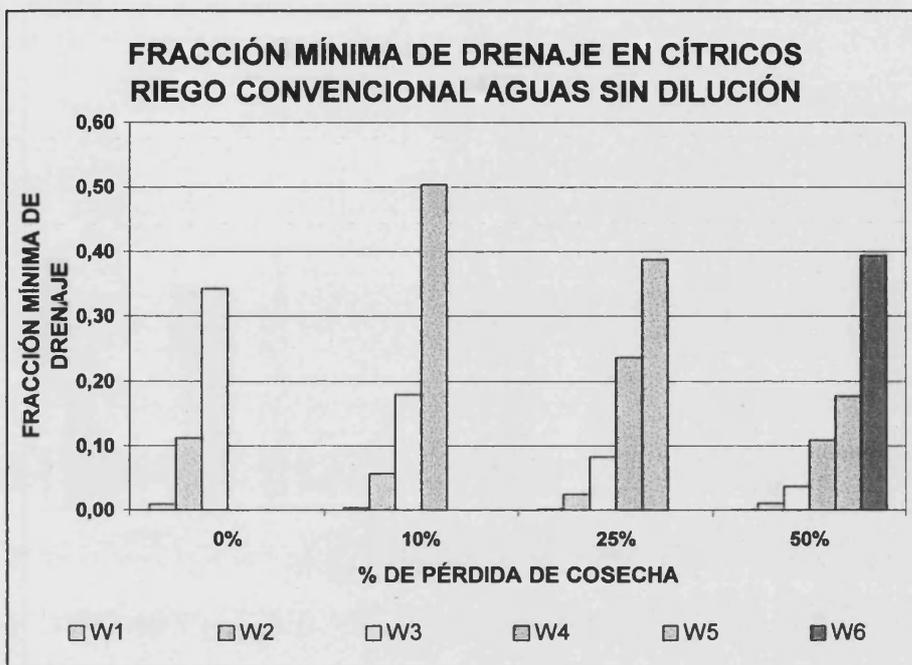


Figura 6.207

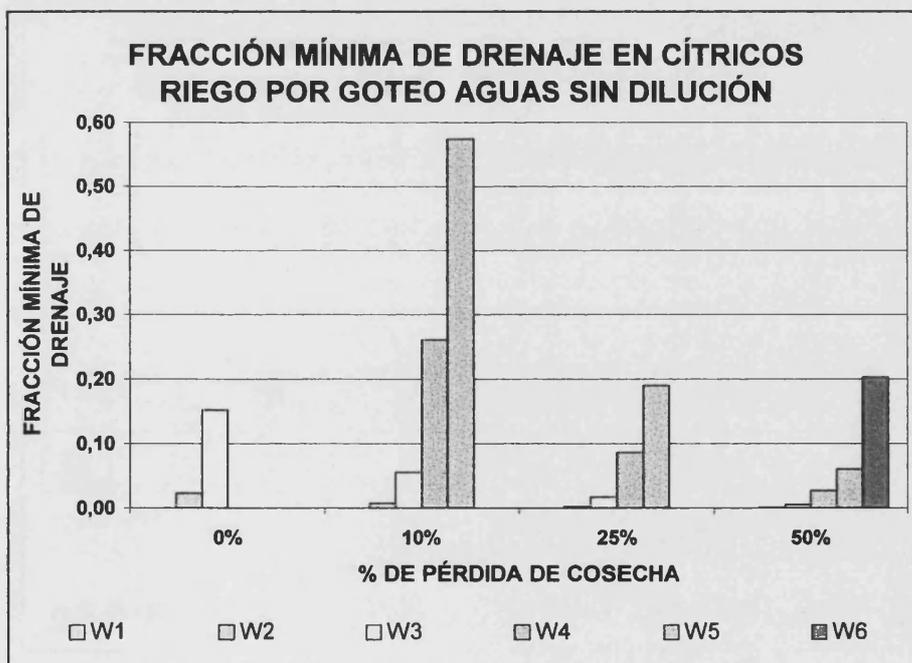


Figura 6.208

6. Resultados y discusión

FRACCIÓN MÍNIMA DE DRENAJE PARA CADA AGUA ADMITIENDO PÉRDIDA DE COSECHA EN RIEGO CONVENCIONAL Y GOTEO (W_70R)

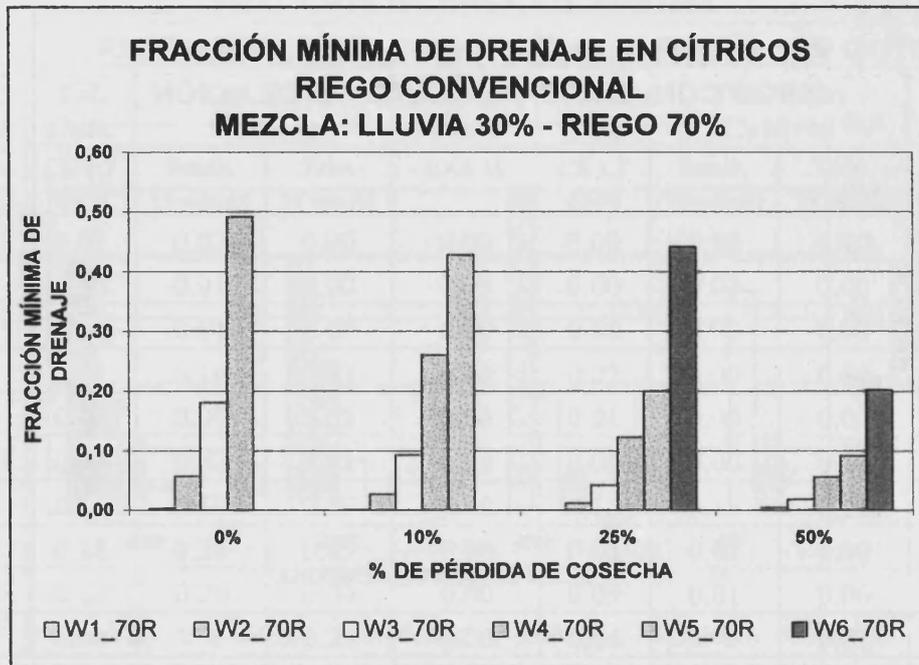


Figura 6.209

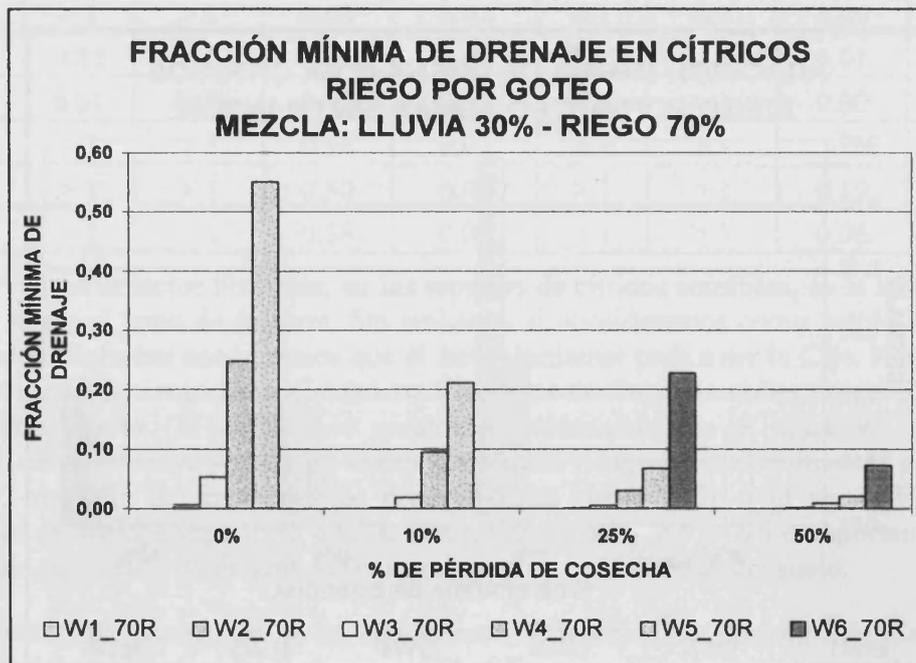


Figura 6.210

FRACCIÓN MÍNIMA DE DRENAJE PARA CADA AGUA ADMITIENDO PÉRDIDA DE COSECHA EN RIEGO CONVENCIONAL Y GOTEO (W_60R)

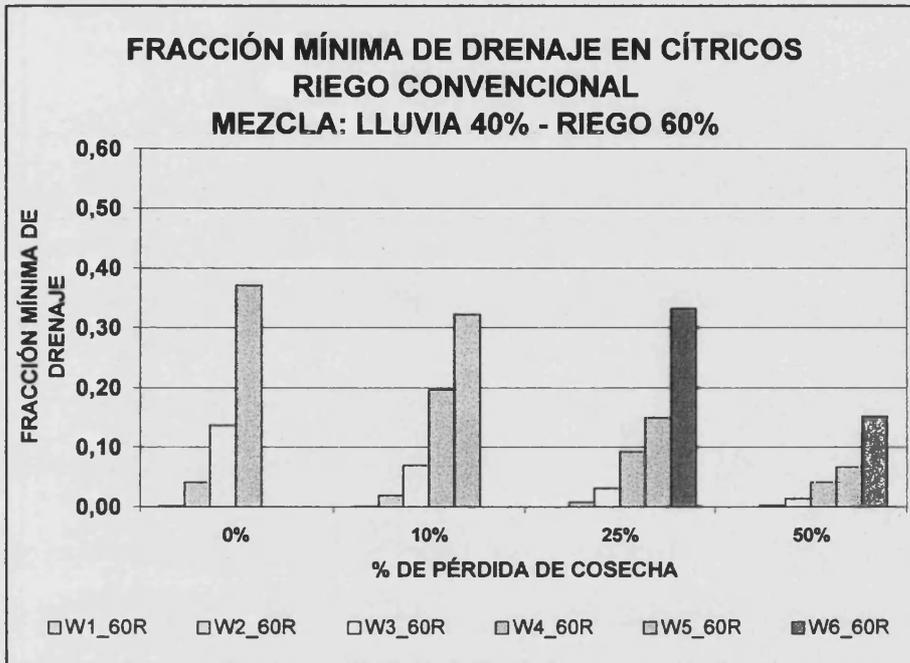


Figura 6.211

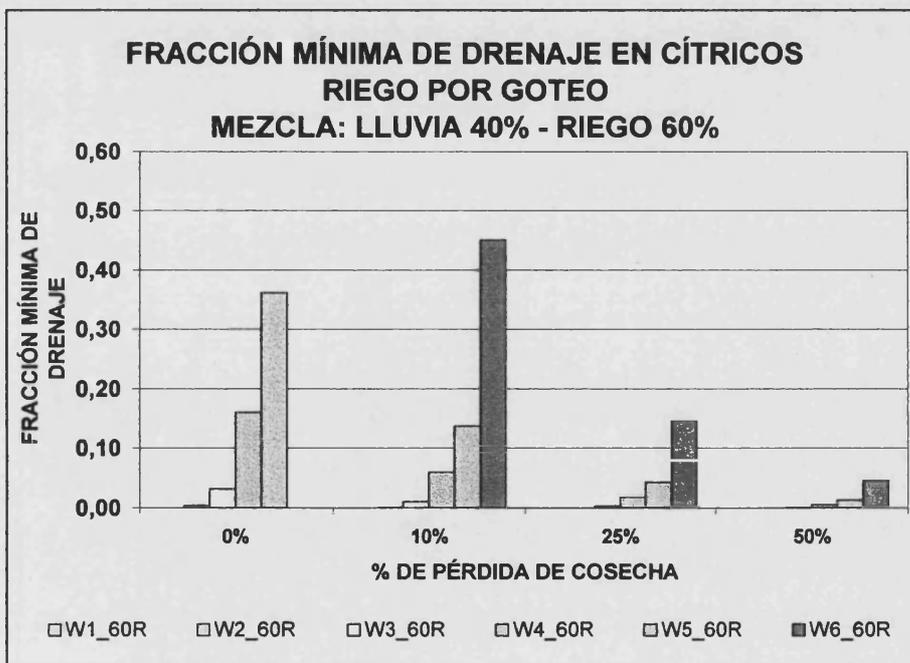


Figura 6.212

FRACCIÓN MÍNIMA DE DRENAJE PARA CADA AGUA Y MEZCLAS SIN PÉRDIDA DE COSECHA EN RIEGO CONVENCIONAL Y RIEGO POR GOTEO

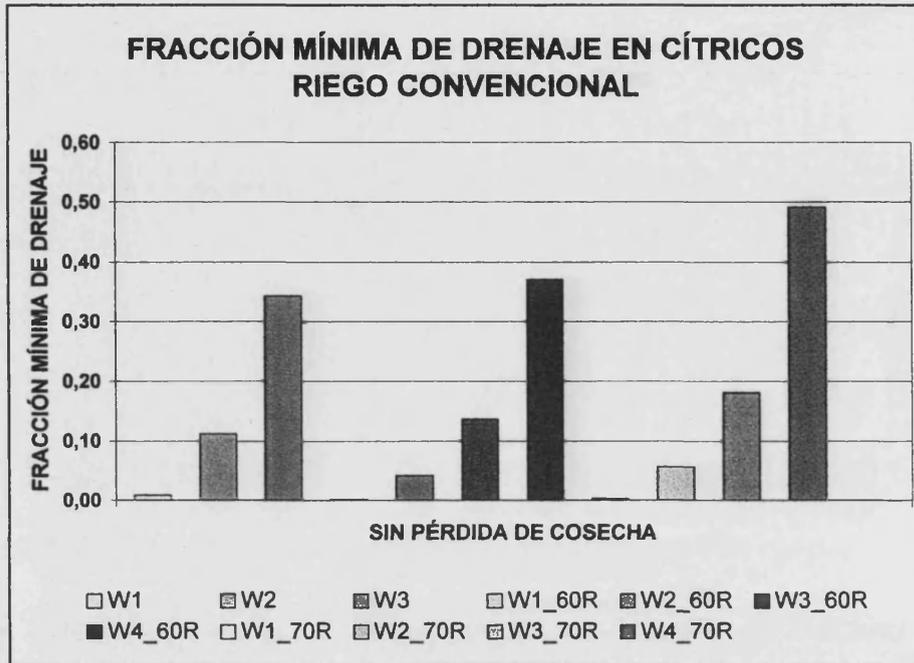


Figura 6.213

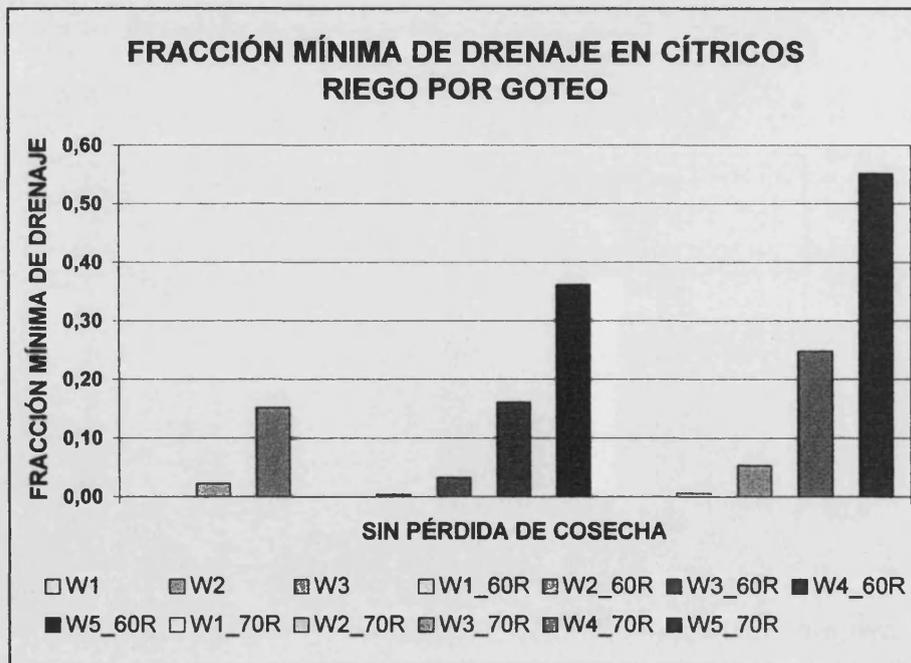


Figura 6.214

Discusión de los resultados obtenidos con el modelo WATSUIT

✓ Distribución de la salinidad, sodicidad y cloruros en la zona radicular

Se observa que en la mitad inferior de la zona radicular la concentración de sales se incrementa fuertemente, sobre todo con las fracciones de drenaje inferiores al 10%. En esta zona la extracción de agua por parte de la raíces es del 30%.

A partir de la calidad de agua W3 se producen problemas de salinidad y de toxicidad por cloruros en la mitad inferior de la zona radicular incluso con fracciones de drenaje del 40%. Sin embargo los problema de sodicidad aparecen con el W5 con fracciones de drenaje inferiores al 10% y con el agua W6 con fracciones de drenaje inferiores al 20%. Con una fracción de drenaje superior al 20% no hay riesgo de sodicidad en ninguna de las calidades estudiadas.

✓ Riesgo de salinidad, sodicidad y toxicidad por cloruros en la zona radicular

- Riego convencional:

Para que la producción de cítricos no se vea afectada por pérdidas en la cosecha se puede utilizar sin riesgos el agua W1. El agua W2 debe utilizarse con una fracción de drenaje no inferior al 11% mientras que el agua W3 requiere de una fracción de drenaje superior al 30%. El resto de calidades requieren fracciones de drenaje muy elevadas por encima del 60% y por tanto no es recomendable su utilización. Por otra parte, si consideramos las mezclas de agua, por efecto de dilución por la lluvia (W_70R y W_60R), las fracciones de drenaje mínima descienden por debajo del 18% para la mezcla W3_70R y del 14% para la mezcla W3_60R.

En el caso de que se admitan pérdidas en la cosecha del 10% se podrían utilizar las mezclas W4_70R y W4_60R con fracciones de drenaje altas por encima del 27% y del 19% respectivamente. Si la pérdida de cosecha es del 25% se podría utilizar hasta el agua W6_60R con fracciones de drenaje superiores al 33%, sin embargo no es recomendable dado que la pérdida de productividad y las necesidades de riego son muy elevadas y es poco viable económicamente. Por tanto no se recomienda la utilización de las calidades W4, W5 y W6.

- Riego por goteo:

En el caso del riego frecuente, sin pérdida de cosecha, las fracciones mínima de drenaje disminuyen permitiendo la utilización de la calidad de agua W3 con un riesgo bajo ya que la fracción mínima requerida es la mitad que en el caso de riego infrecuente o convencional (> 15%). En cuanto a las mezclas de agua (W_70R y W_60R) se pueden utilizar hasta las calidades W4_70R (> 25%) y W4_60R (> 16%). El resto de calidades superan las fracciones de drenaje recomendadas.

Admitiendo pérdidas en la cosecha del 10-25% se podría llegar a utilizar las mezclas W6_70R y W6_60R con fracciones del 23% y del 15% respectivamente aunque no se recomienda su utilización.

6. Resultados y discusión

6.2.3. Diseño de riego óptimo (CROPWAT)

En el diseño de riego óptimo se han tenido en cuenta las fracciones mínimas de drenaje obtenidas en el programa WATSUIT para las curvas de E_{Ce} en equilibrio con calcita.

El patrón de cultivo seleccionado es el cultivo de cítricos (*Citrus sp.*) con una cobertura del 70% y un área de plantación del 100%. El clima seleccionado es el clima de la estación meteorológica de Castellón. Estos datos están incluidos en las bases de datos del programa CROPWAT.

En cuanto a los tipos de suelos más frecuentes en la zona son los suelos francos y franco arcilloso. Los valores de agua útil y de conductividad hidráulica saturada se han calculado para estos tipos de suelo mediante funciones de edafotransferencia (Saxton, et al. 1986) y se han introducido en el programa CROPWAT para obtener correspondientes los riegos óptimos.

Mediante la selección de criterios adecuados para el cultivo de cítricos se obtuvo el riego mínimo (sin drenaje) para cada suelo y posteriormente se obtuvieron los riegos óptimos con varias fracciones de drenaje (tabla 6.43).

Tabla 6.43. Escenarios ejecutados con el programa CROPWAT.

DISEÑO DE RIEGO	TIPO DE SUELO	FRACCIÓN DRENAJE	CRITERIOS DE RIEGO	
			FRECUENCIA	CANTIDAD
A0	FRANCO	0.00	30% TSMDO ¹	100% RAM ²
A1	FRANCO	0.30	30% TSMDO ¹	100% RAM ²
A2	FRANCO	0.15	30% TSMDO ¹	100% RAM ²
B0	FRANCO ARCILLOSO	0.00	20% TSMDO ¹	100% RAM ²
B1	FRANCO ARCILLOSO	0.30	20% TSMDO ¹	100% RAM ²
B2	FRANCO ARCILLOSO	0.15	20% TSMDO ¹	100% RAM ²
T0 ³	FRANCO	0.26	25 días	40 mm

¹TSMDO: Riego cuando disminuye en un porcentaje el total de humedad del suelo. ²RAM: Corresponde con el agua útil multiplicado por un factor dependiente del cultivo (en el caso de cítricos el factor es de 0.5). ³T0 corresponde a la estrategia de riego utilizada en los cultivos de Torreblanca.

La selección de los criterios de riego se basan en la humedad óptima para los cítricos que se encuentra entre el 30-45% del agua útil (ver capítulo 3) y en la conductividad hidráulica que es muy baja en los suelos franco arcillosos (60 mm/día). Los resultados obtenidos se representan en las gráficas 6.215-218 y en las tablas 6.44-45.

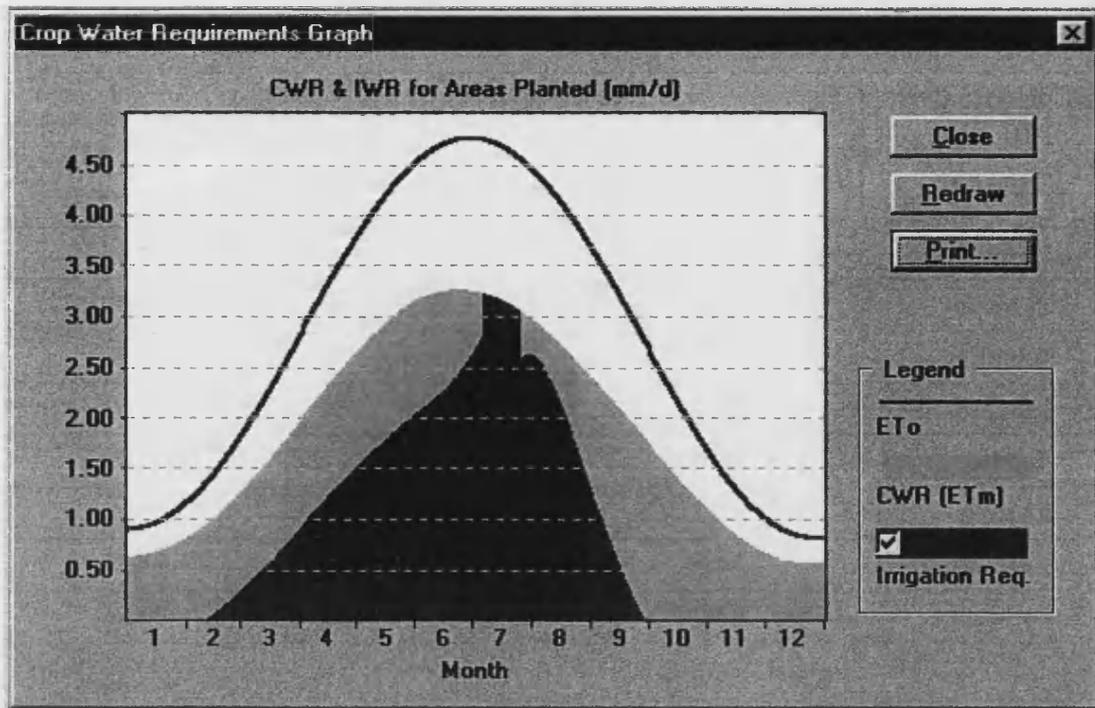


Figura 6.215. Requerimientos hídricos del cultivo de cítricos

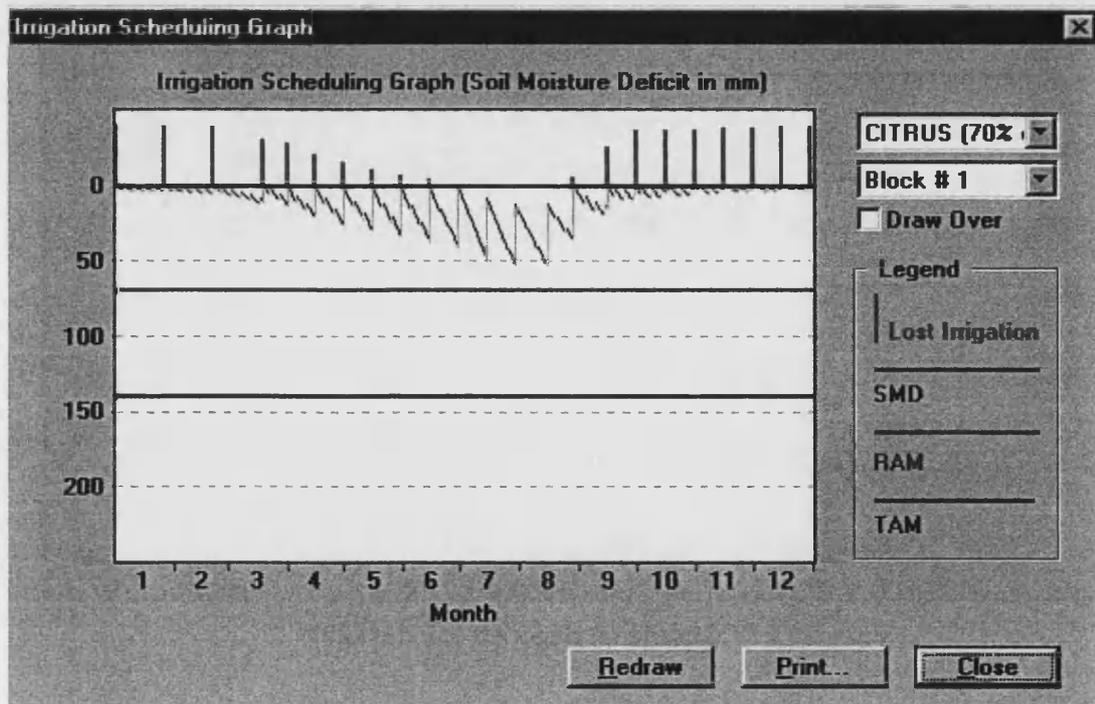


Figura 6.216. Diseño de riego T0 (gestión de riego llevada a cabo en los campos experimentales de Torreblanca).

6. Resultados y discusión

Tabla 6.44. Esquema de riego A

DISTRIBUCIÓN RIEGO FECHAS	VOLUMEN DEL RIEGO (mm)		
	CASO A0 (F. D. 0%)	CASO A2 (F. D. 15%)	CASO A1 (F. D. 30%)
19 abril	42.1	57.1	72.1
15 mayo	43.2	58.2	73.2
4 junio	43.6	58.6	73.6
22 junio	43.5	58.5	73.5
8 julio	44.9	59.9	74.9
22 julio	44.2	59.2	74.2
8 agosto	44.8	59.8	74.8
2 septiembre	44.2	59.2	74.2

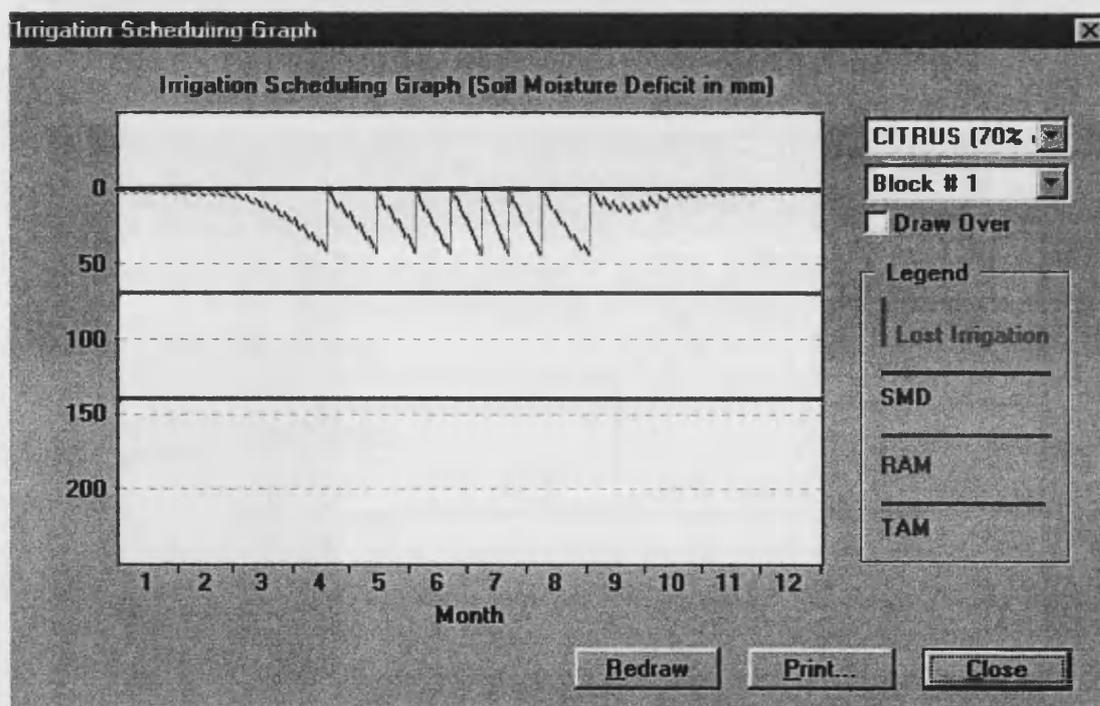


Figura 6.217. Diseño de riego A0 (sin drenaje)

Tabla 6.45. Esquema de riego B

DISTRIBUCIÓN RIEGO FECHAS	VOLUMEN DEL RIEGO (mm)		
	CASO B0 (F. D. 0%)	CASO B2 (F. D. 15%)	CASO B1 (F. D. 30%)
8 abril	28.5	36.5	44.5
29 abril	28.3	36.3	44.3
15 mayo	29.8	37.8	45.8
29 mayo	30.5	38.5	46.5
12 junio	30.5	38.5	46.5
24 junio	29.6	37.6	45.6
4 julio	29.7	37.7	45.7
13 julio	28.9	36.9	44.9
22 julio	28.2	36.2	44.2
2 agosto	29.4	37.4	45.4
14 agosto	29.8	37.8	45.8
29 agosto	29.6	37.6	45.6

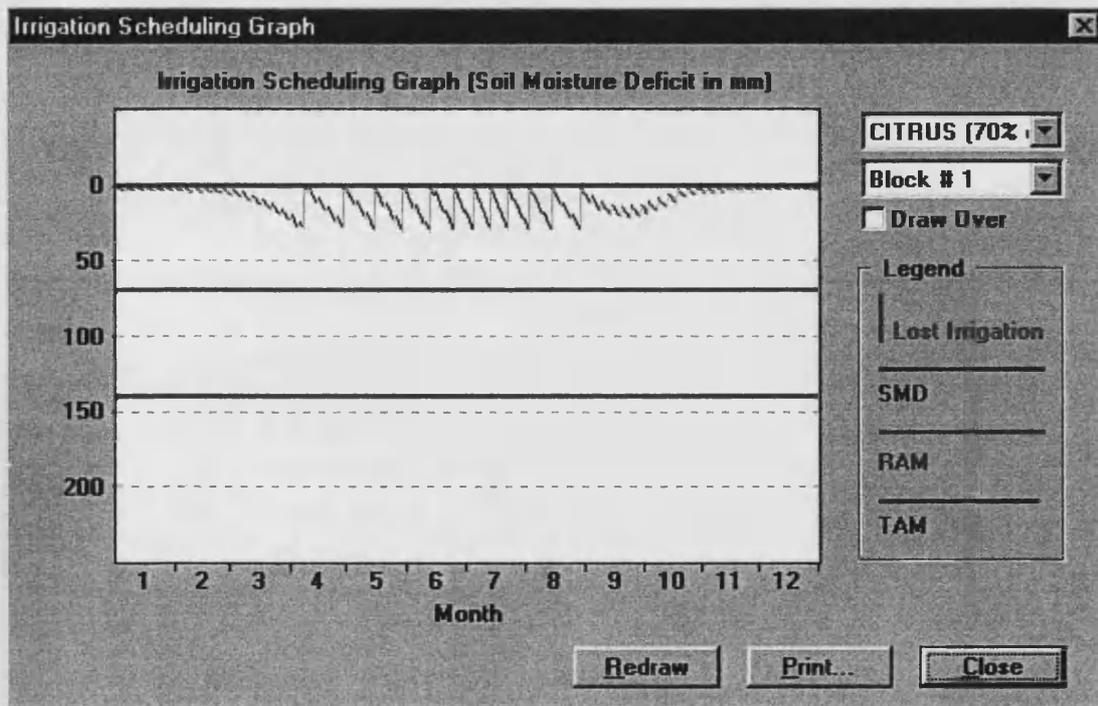


Figura 6.218. Diseño de riego B0 (sin drenaje)

6. Resultados y discusión

6.2.4. Predicción del riesgo de salinización (LEACHM)

Con estos datos se han elaborado los archivos de entrada para cada perfil y ejecutado los siguientes escenarios (tabla 6.46):

- Cultivo: cítricos con cobertura 0.70 y factor del cultivo 0.65. Distribución constante de raíces.
- Clima: Datos diarios de lluvia y ETo semanal obtenidos de la estación meteorológica instalada en Torreblanca durante el año 1999.
- Suelos: Datos de cada perfil obtenidos en el momento de la apertura
- Riego: Diseño A ó B según la textura de los horizontes de cada perfil y caso T0
- Calidad de aguas: W1, W2, W3 y W4 para riego convencional y W3, W4, W5 y W6 para riego por goteo.

El diseño de riego óptimo (R0) se ha obtenido a partir de los datos de los diseños A ó B del CROPWAT (según el tipo de suelo) tras la evaluación con el modelo LEACHM añadiendo riegos en la fechas en las que se genera un potencial matricial superior a -200 kPa.

El diseño para el riego por goteo se ha obtenido aplicando el patrón siguiente: del 25 enero al 31 mayo (0.75 mm/día), del 1 junio al 30 septiembre (3 mm/día), del 1 octubre al 31 octubre (2.25 mm/día) y del 1 noviembre al 31 diciembre (1.5 mm/día). Este patrón se basa en la prácticas llevadas a cabo en la zona de Torreblanca para el riego por goteo.

Tabla 6.46. Escenarios ejecutados con el modelo LEACHM

PERFIL	RIEGO CONVENCIONAL				R. GOTEÓ
	DISEÑO A	DISEÑO B	DISEÑO T0	AJUSTE DISEÑO R0	
PRI	x		x	A partir de A1	x
PRII	x		x	A partir de A1	x
PRIII	x		x	A partir de A1	x
PRIV		x	x	A partir de B1	x
PRV		x	x	A partir de B1	x
PRVI		x	x	A partir de B1	x
PRVII		x	x	A partir de B1	x

Los gráficos 6.219-6.554 y las tablas 6.47-6.53 muestran los resultados obtenidos para los sistemas de riego considerados: el riego convencional y el riego por goteo.

Los diseños de riego representados son: el diseño A o B según la textura, sin considerar el drenaje (A0 y B0), con la gestión llevada a cabo actualmente en Torreblanca (T0), con el diseño óptimo (R0) para riego convencional y con el diseño de riego por goteo realizado en Torreblanca (G0).

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRI RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO A0)

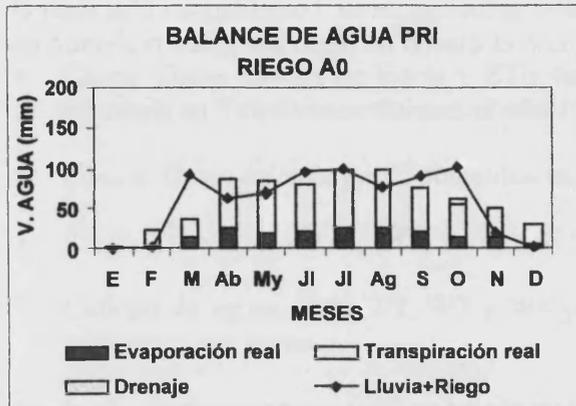


Figura 6.219

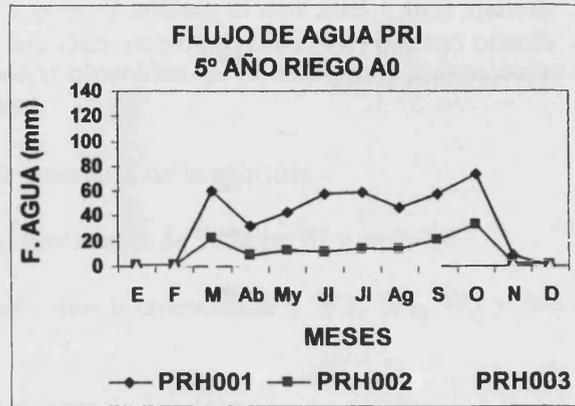


Figura 6.220

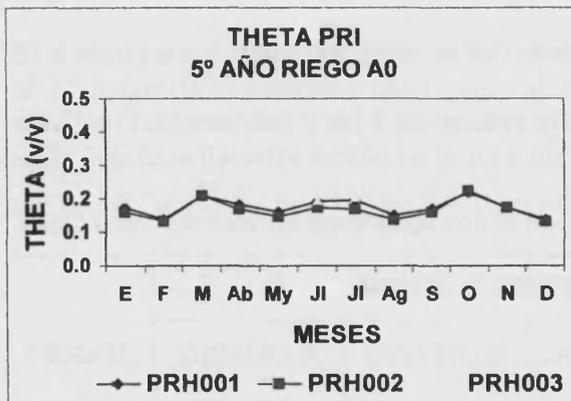


Figura 6.221

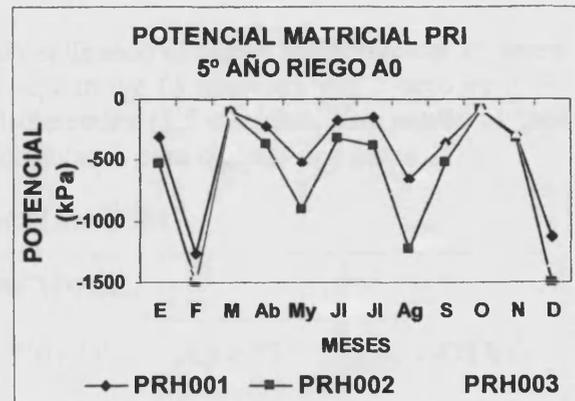


Figura 6.222

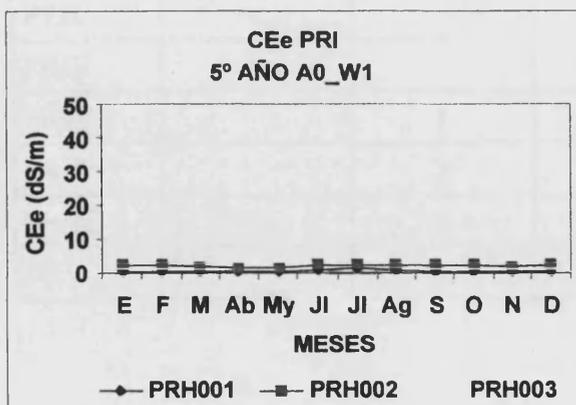


Figura 6.223

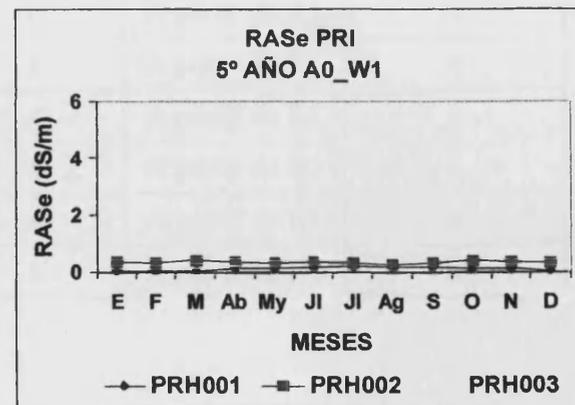


Figura 6.224

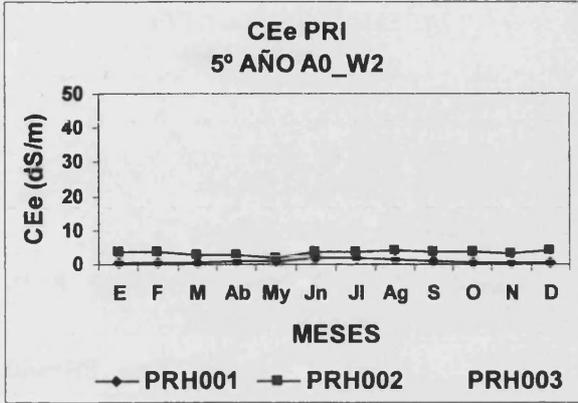


Figura 6.225

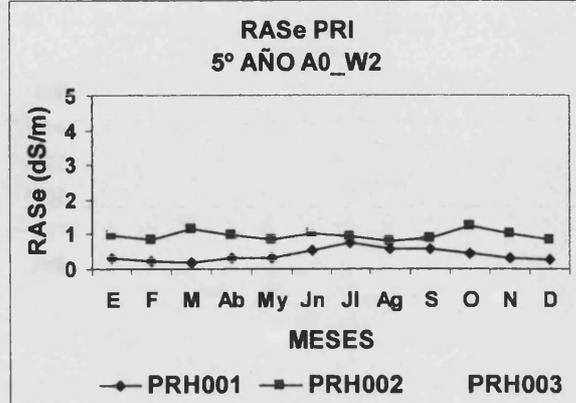


Figura 6.226

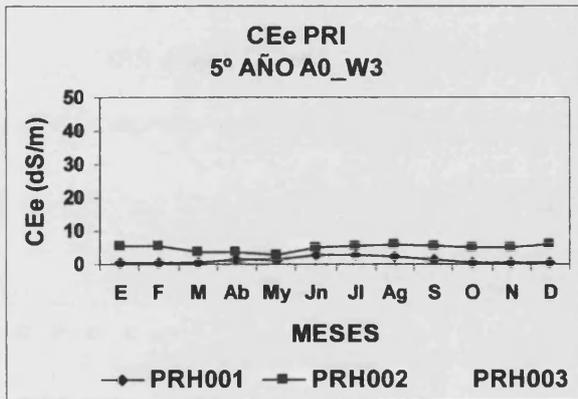


Figura 6.227

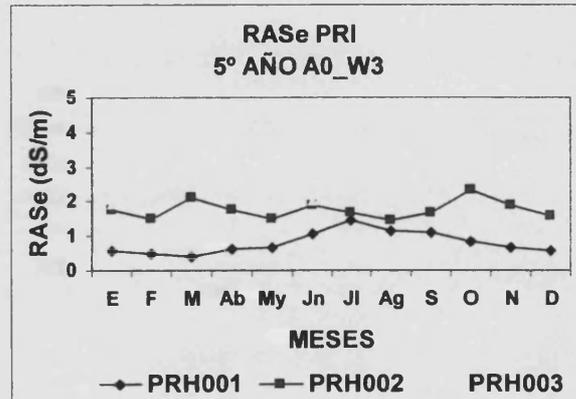


Figura 6.228

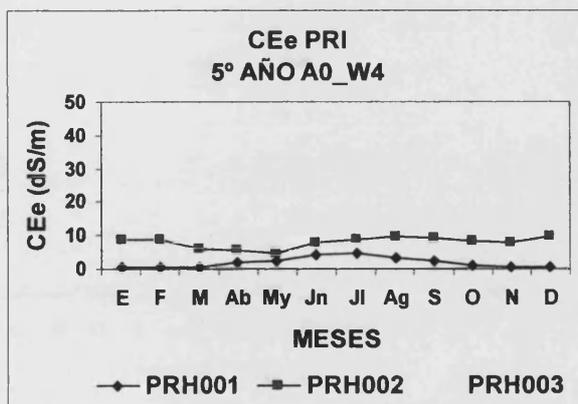


Figura 6.229

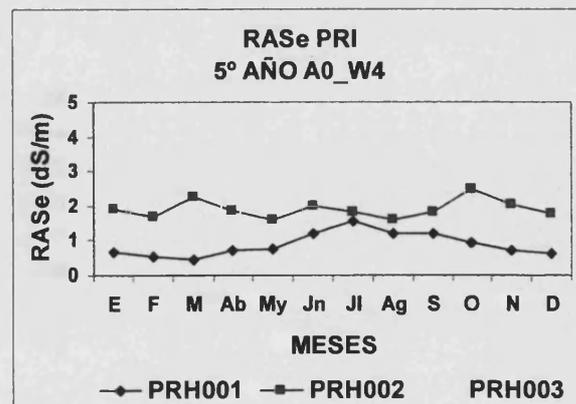


Figura 6.230

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRI RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO T0)

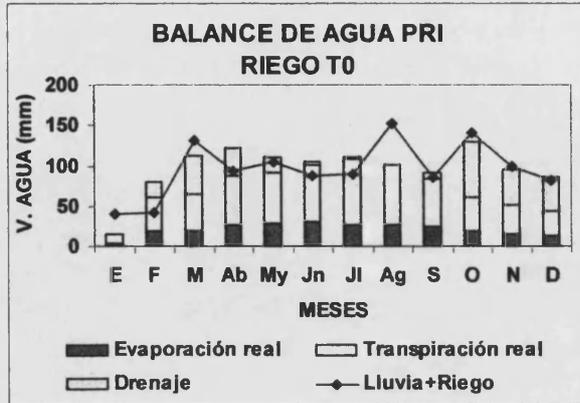


Figura 6.231

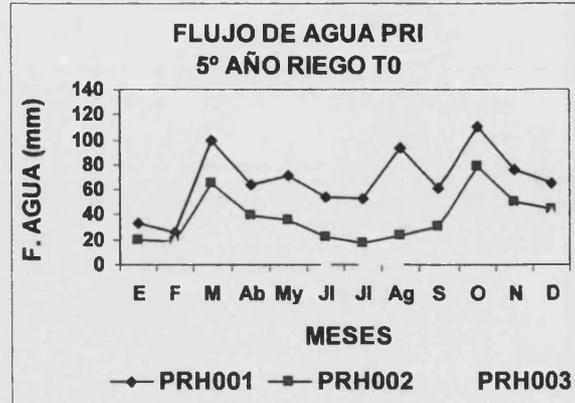


Figura 6.232

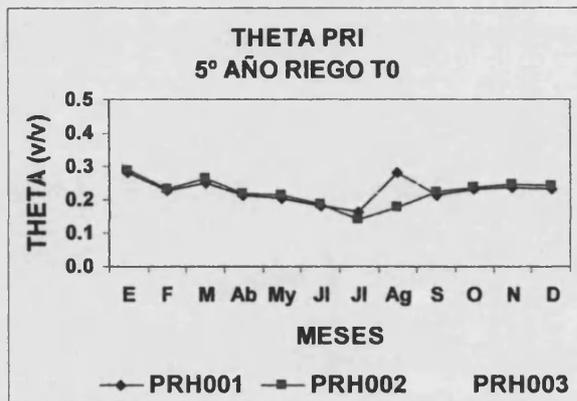


Figura 6.233

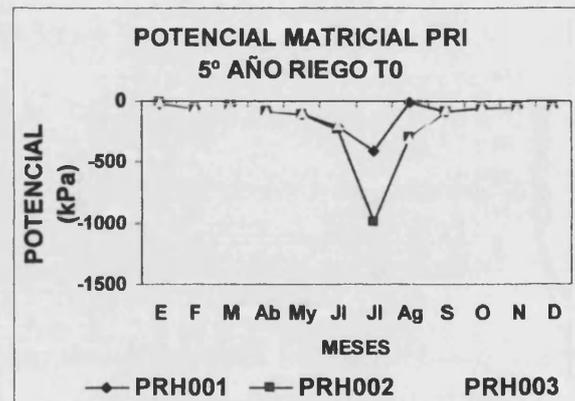


Figura 6.234

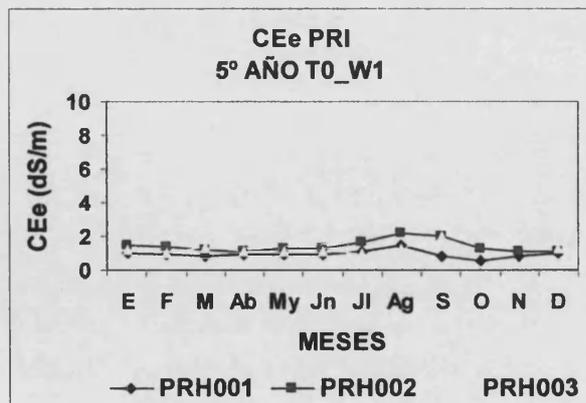


Figura 6.235

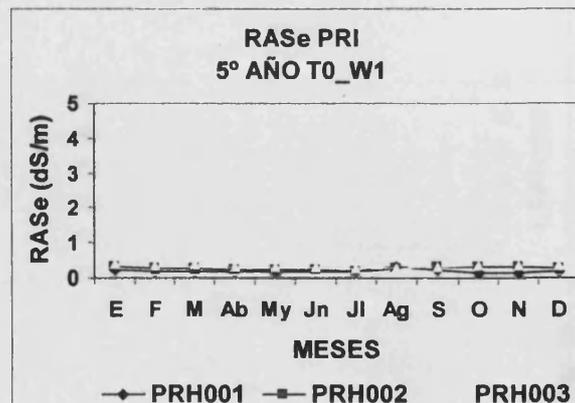


Figura 6.236

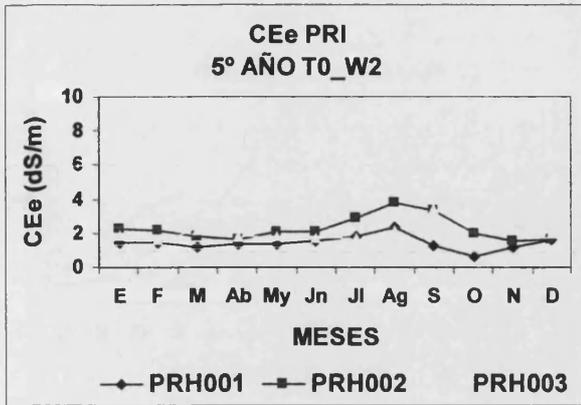


Figura 6.237

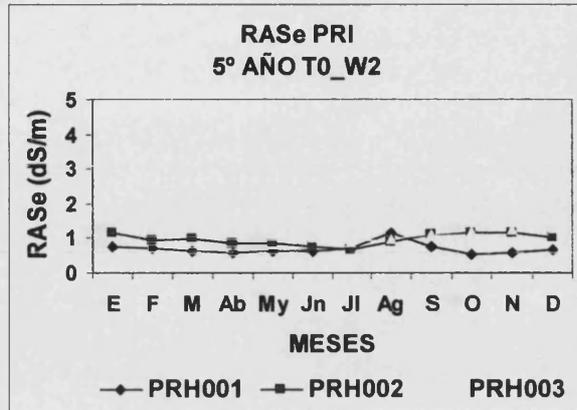


Figura 6.238

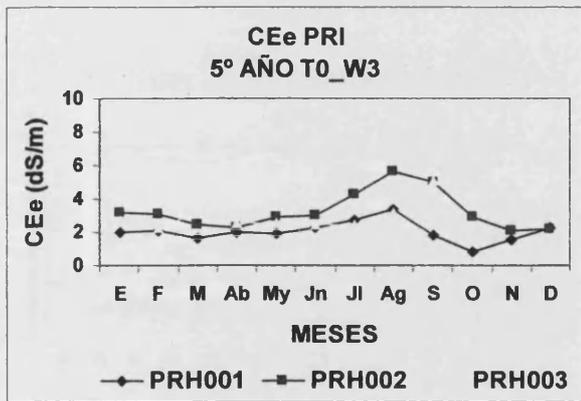


Figura 6.239

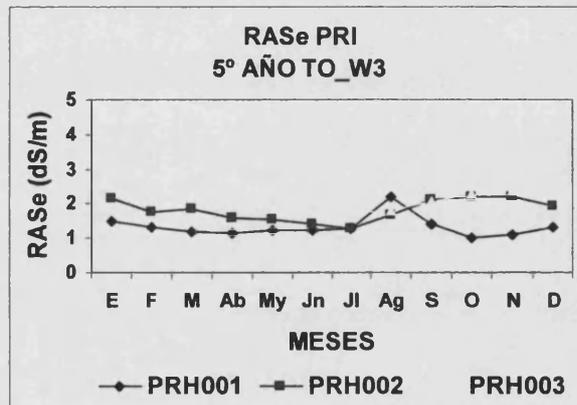


Figura 6.240

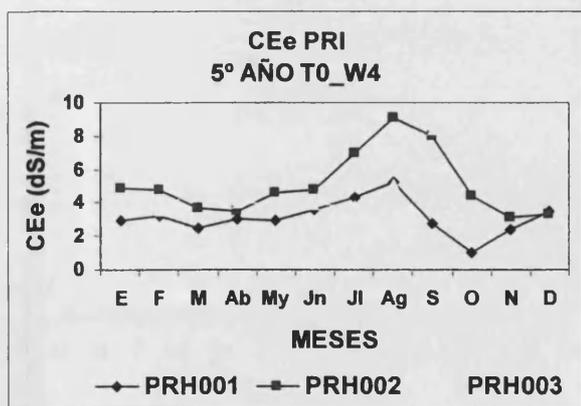


Figura 6.241

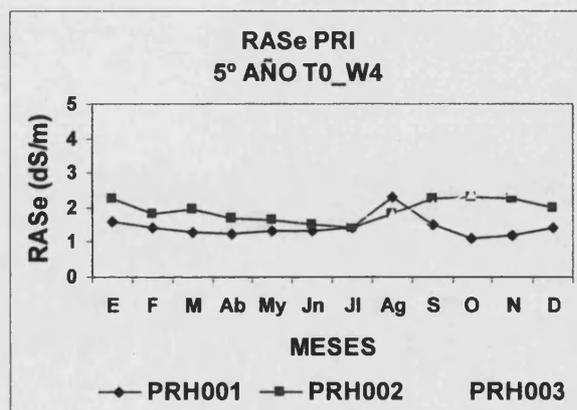


Figura 6.242

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRI RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO R0)

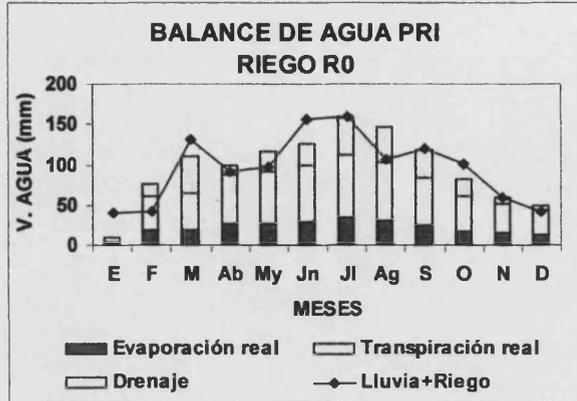


Figura 6.243

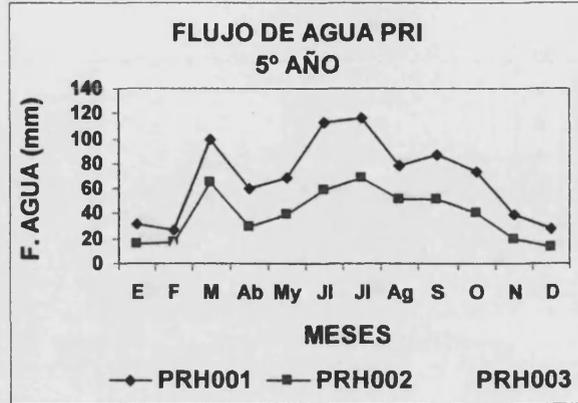


Figura 6.244

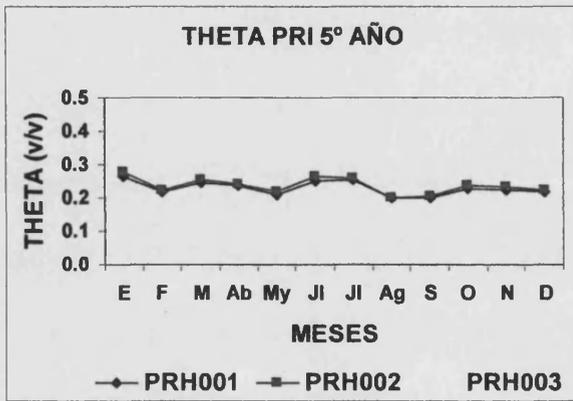


Figura 6.245

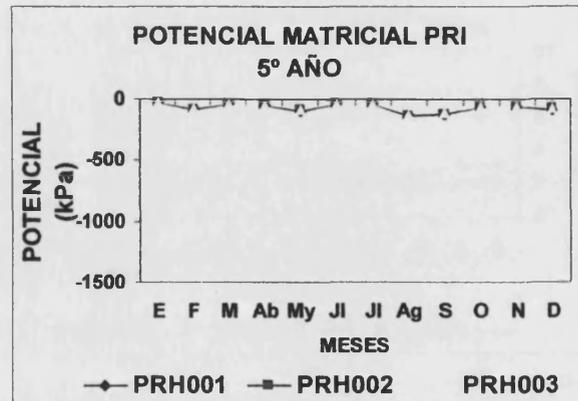


Figura 6.246

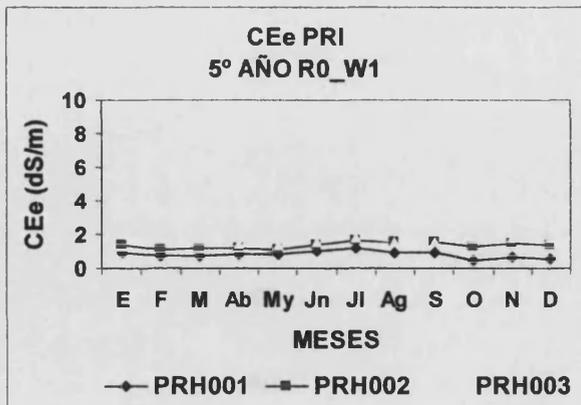


Figura 6.247

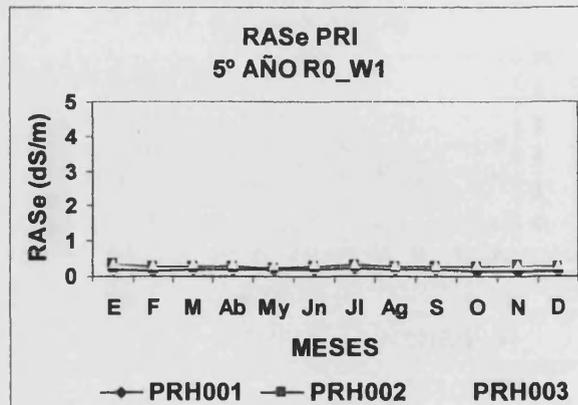


Figura 6.248

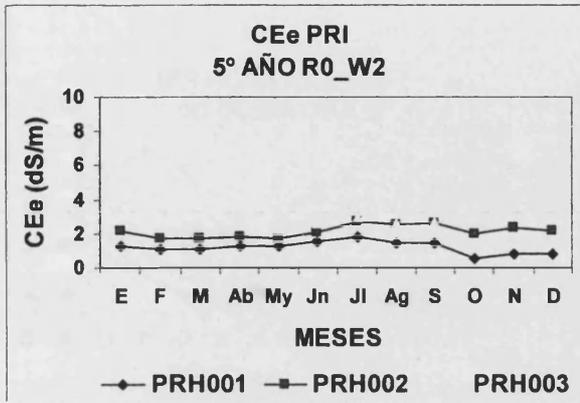


Figura 6.249

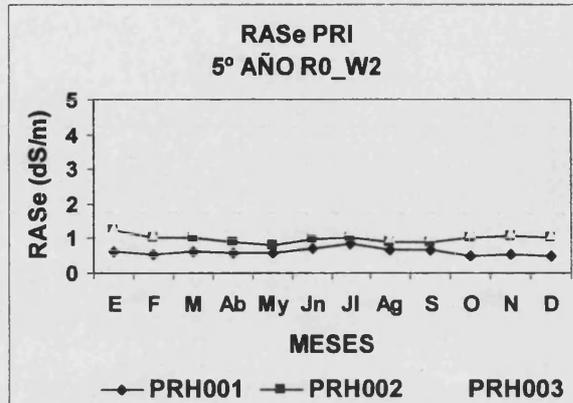


Figura 6.250

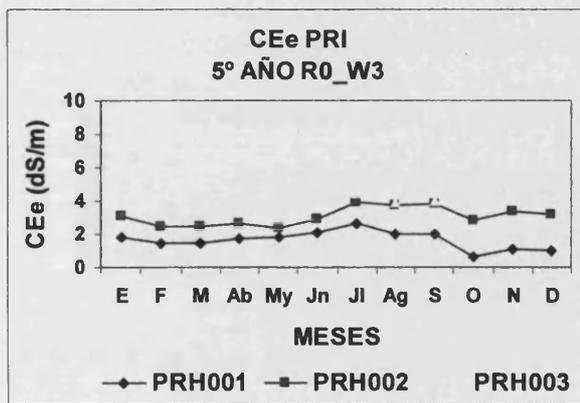


Figura 6.251

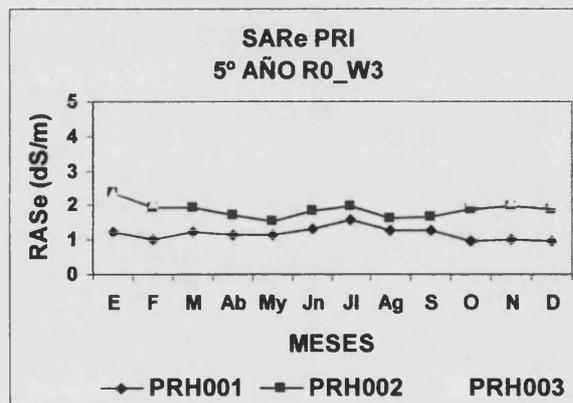


Figura 6.252

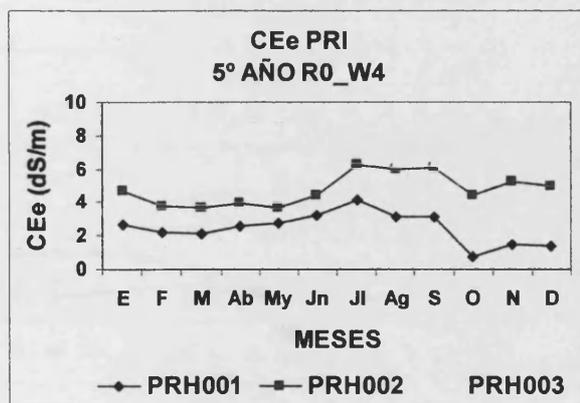


Figura 6.253

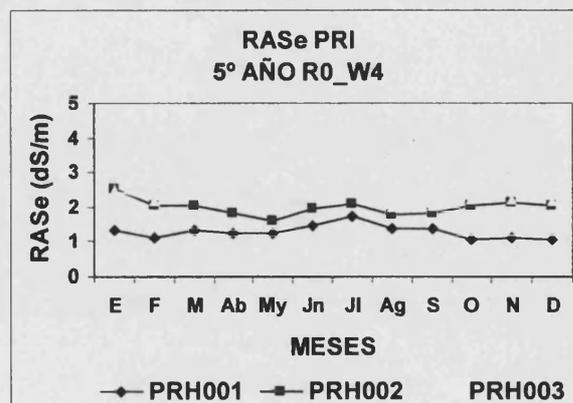


Figura 6.254

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRI RIEGO GOTEO
(DISEÑO RIEGO G0)

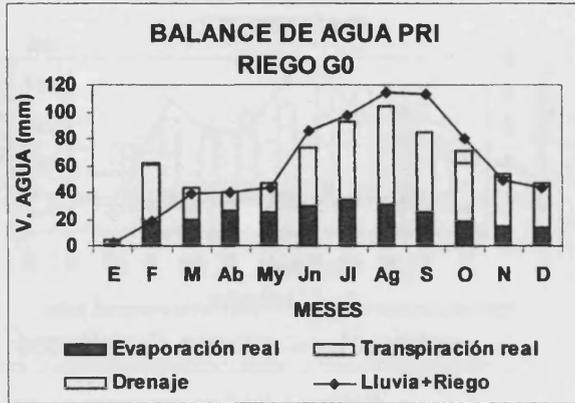


Figura 6.255

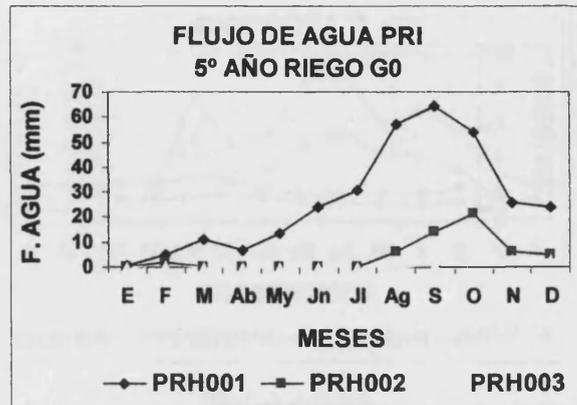


Figura 6.256

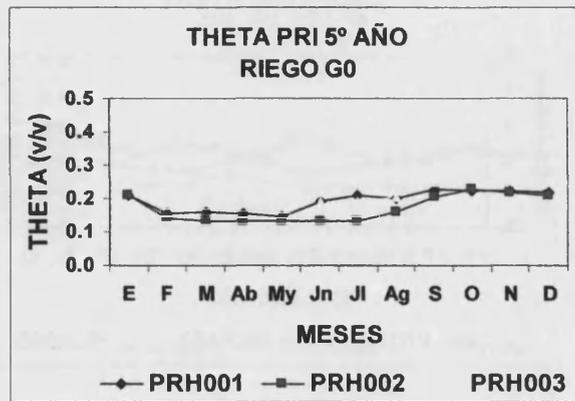


Figura 6.257

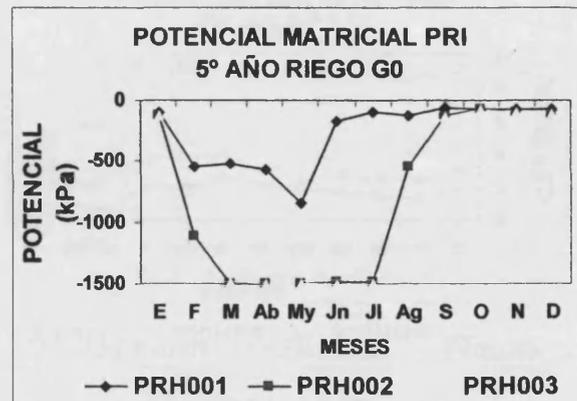


Figura 6.258

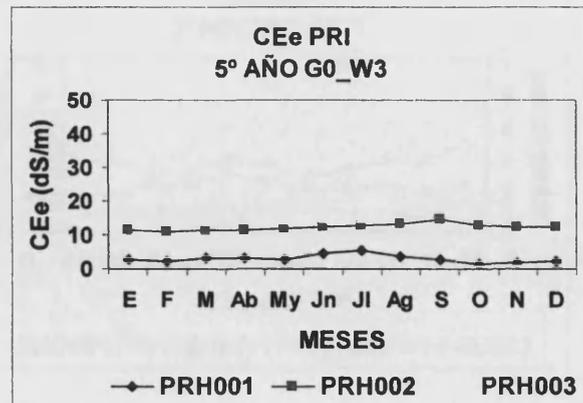


Figura 6.259

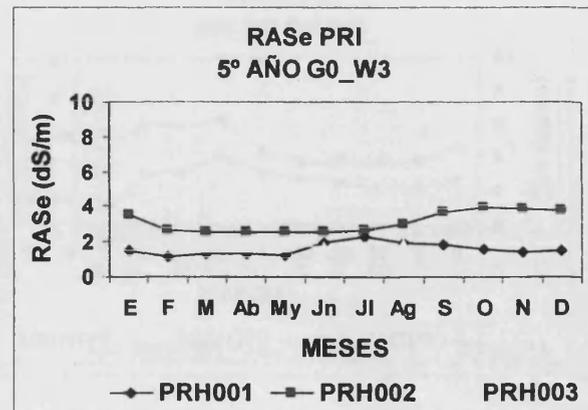


Figura 6.260

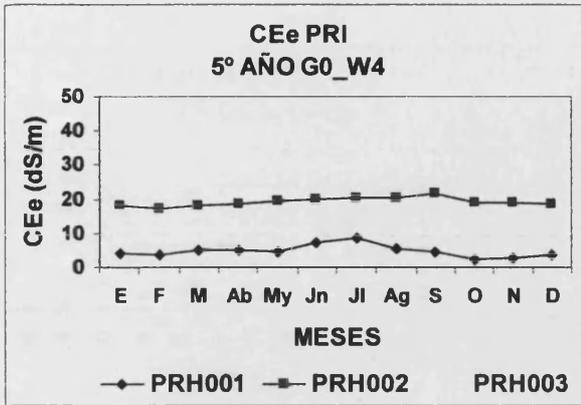


Figura 6.261

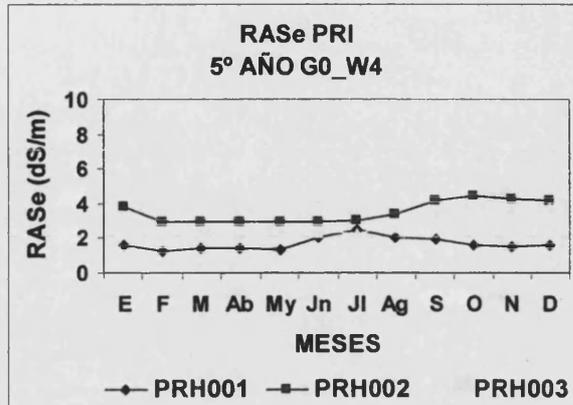


Figura 6.262

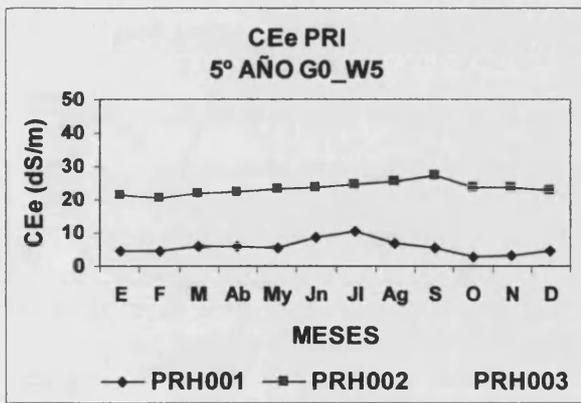


Figura 6.263

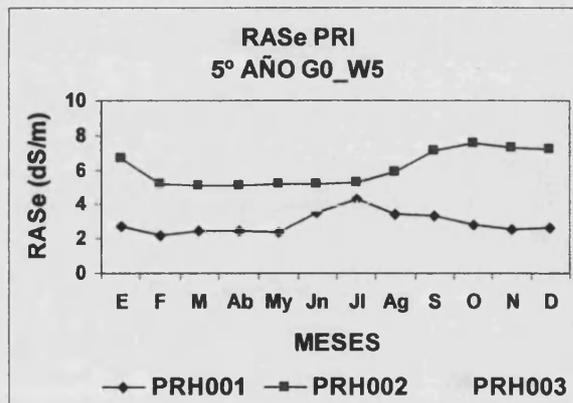


Figura 6.264

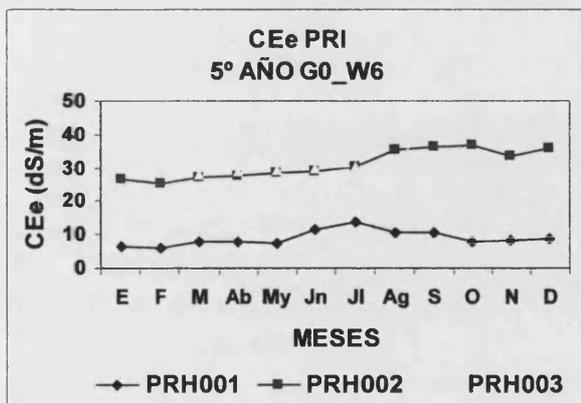


Figura 6.265

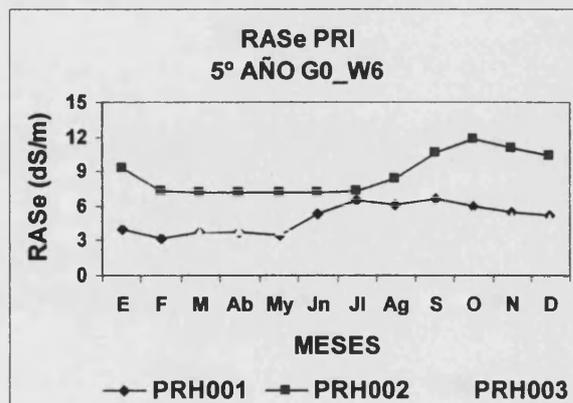


Figura 6.266

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRII RIEGO CONVENCIONAL (DISEÑO RIEGO A0)

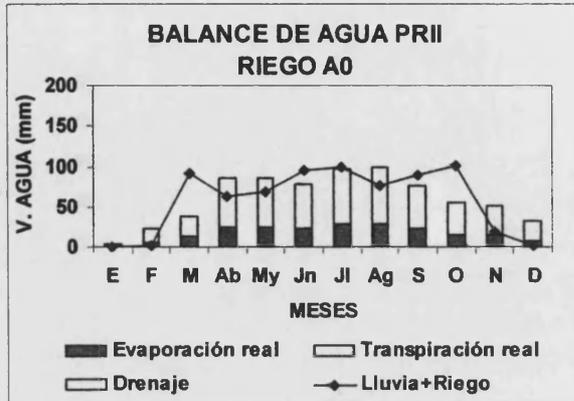


Figura 6.267

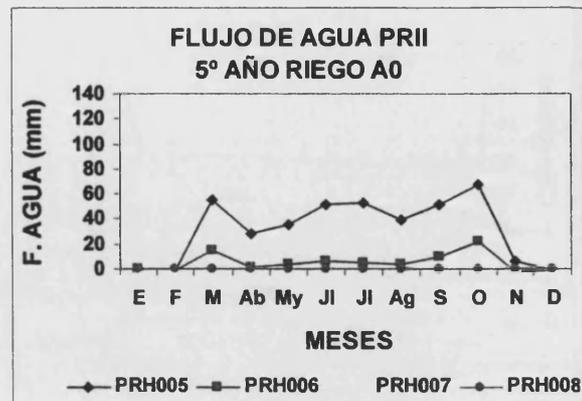


Figura 6.268

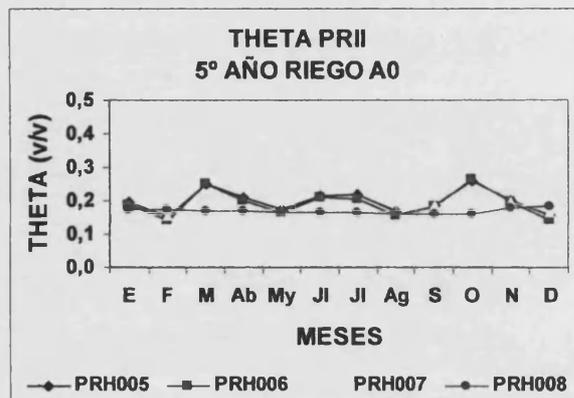


Figura 6.269

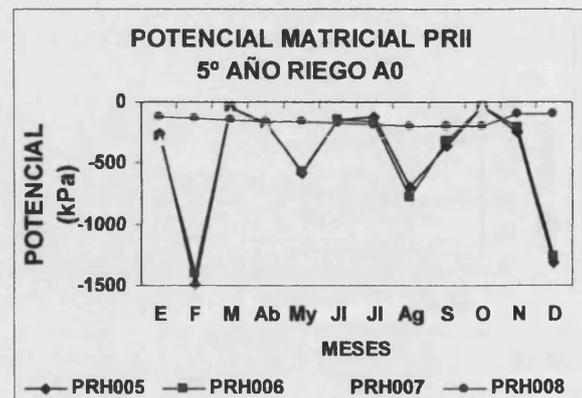


Figura 6.270

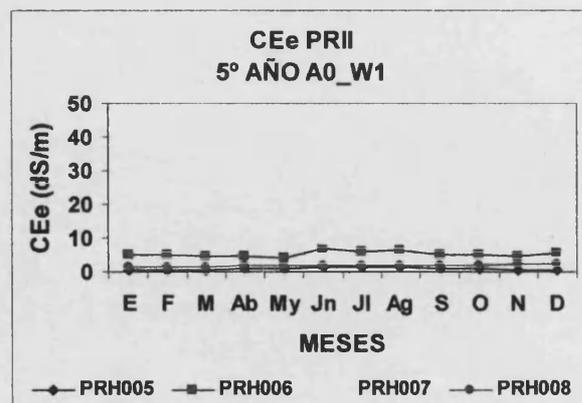


Figura 6.271

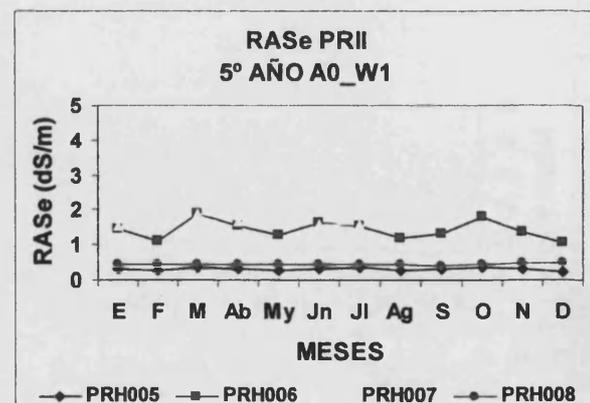


Figura 6.272

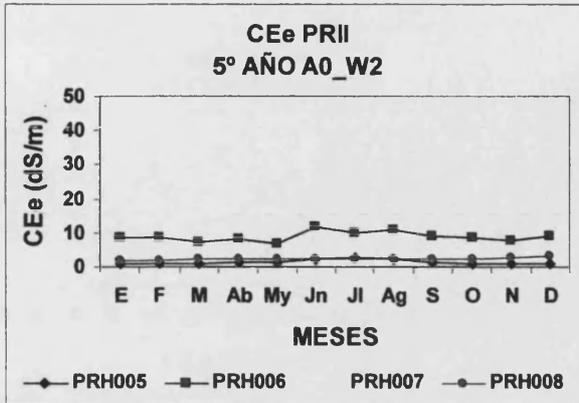


Figura 6.273

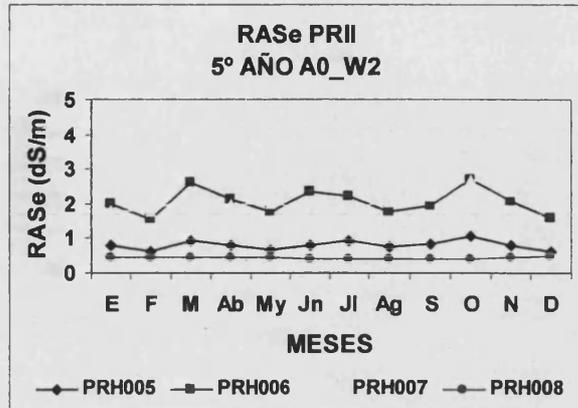


Figura 6.274

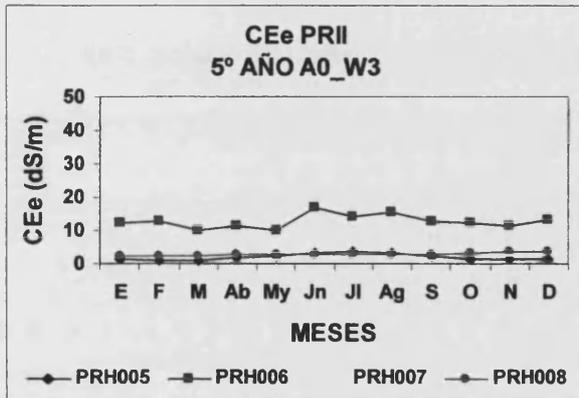


Figura 6.275

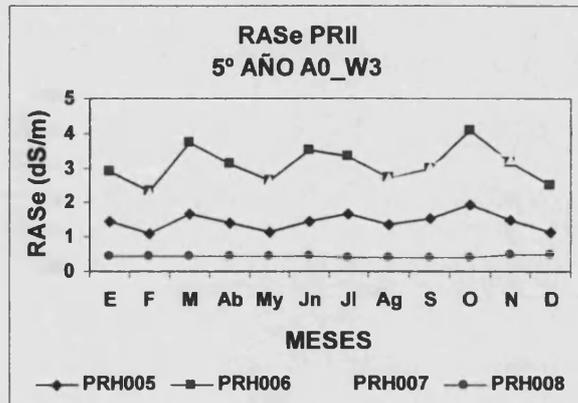


Figura 6.276

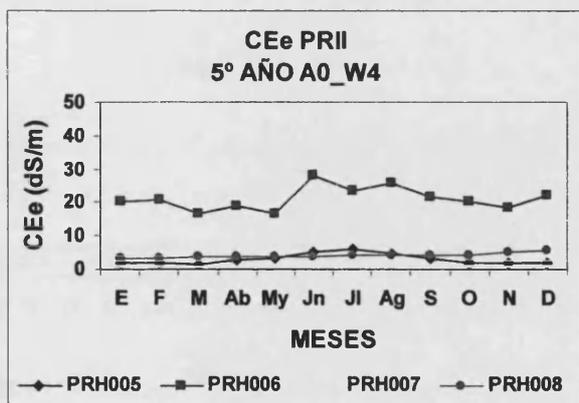


Figura 6.277

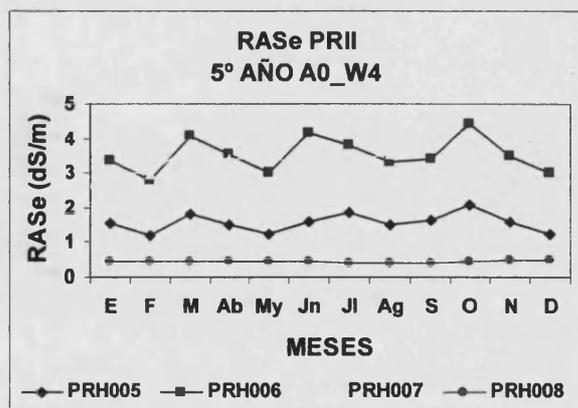


Figura 6.278

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRII RIEGO CONVENCIONAL (DISEÑO RIEGO T0)

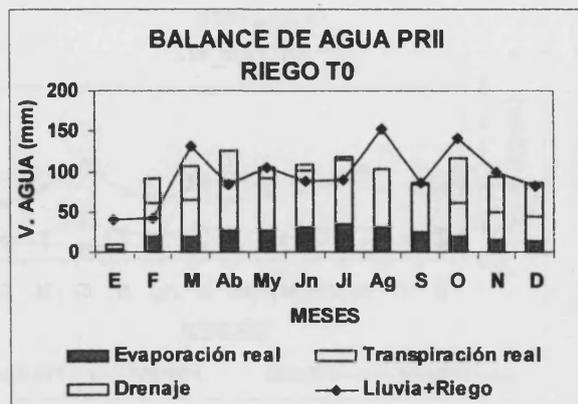


Figura 6.279

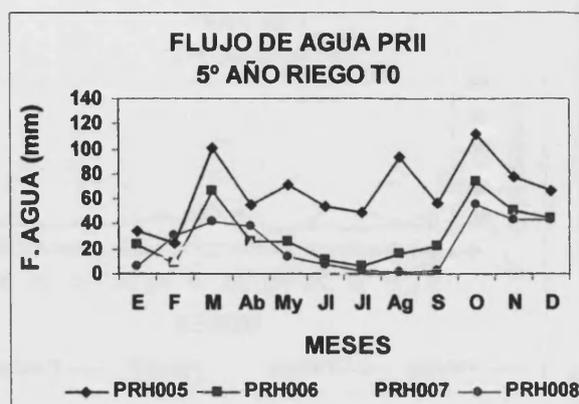


Figura 6.280

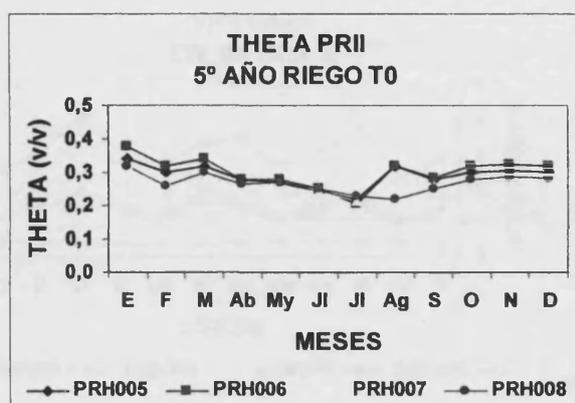


Figura 6.281

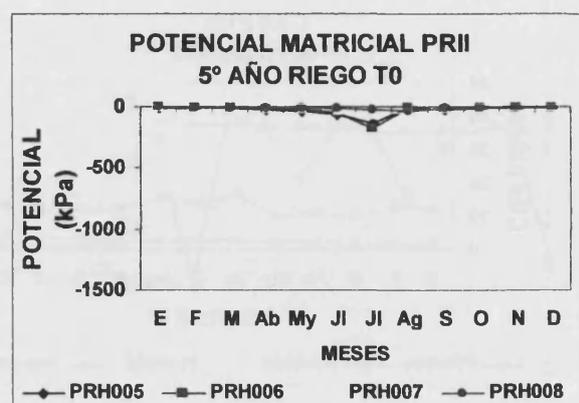


Figura 6.282

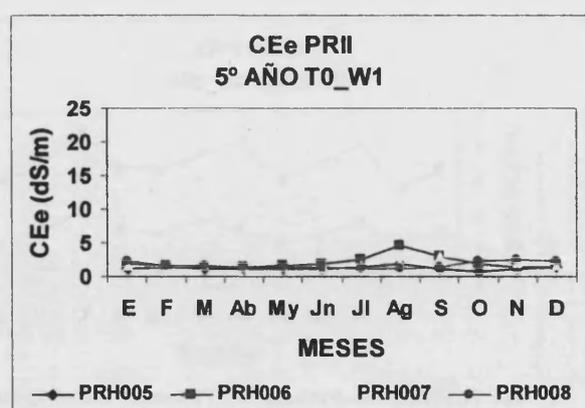


Figura 6.283

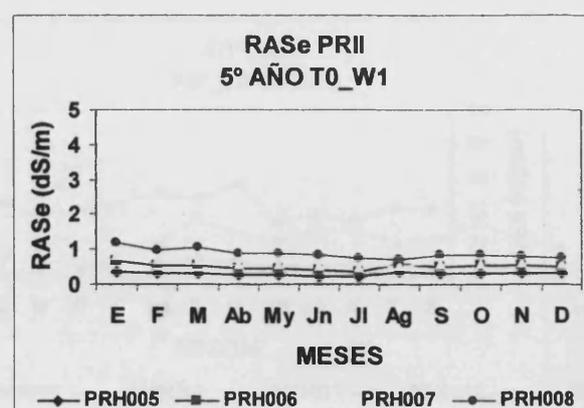


Figura 6.284

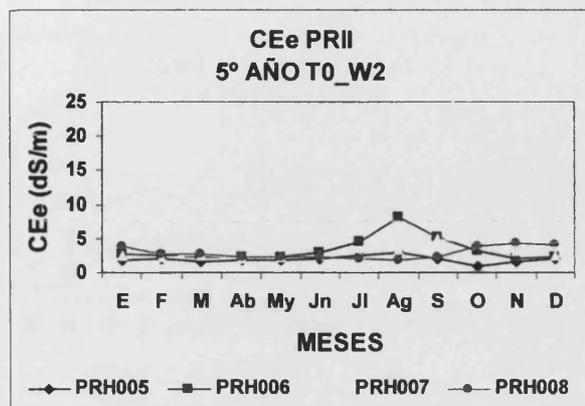


Figura 6.285

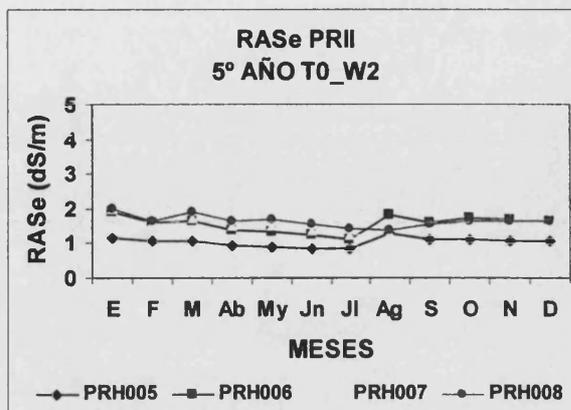


Figura 6.286

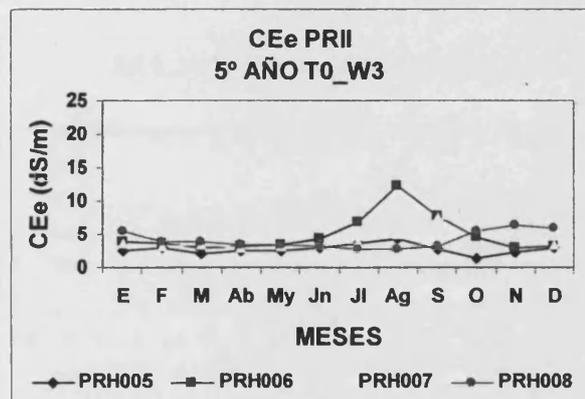


Figura 6.287

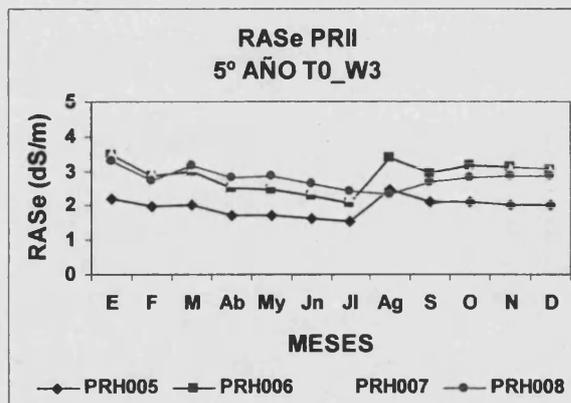


Figura 6.288

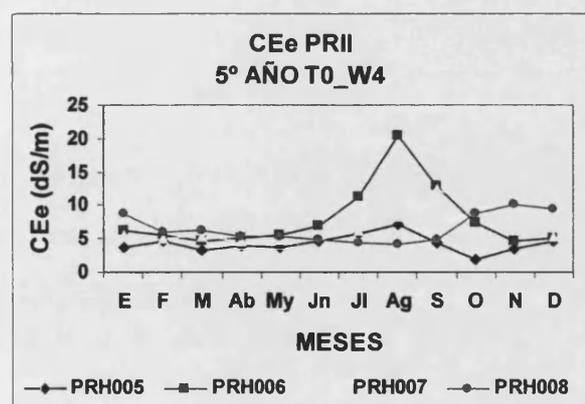


Figura 6.289

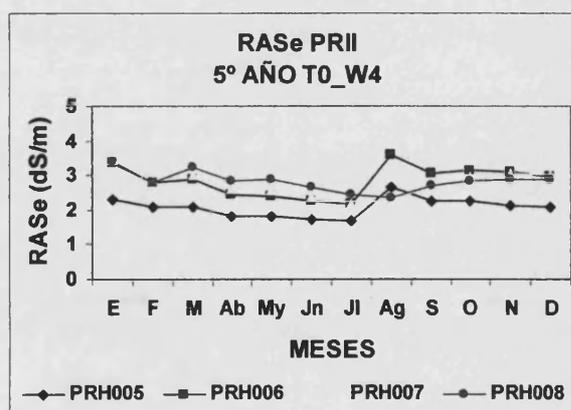


Figura 6.290

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRII RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO R0)

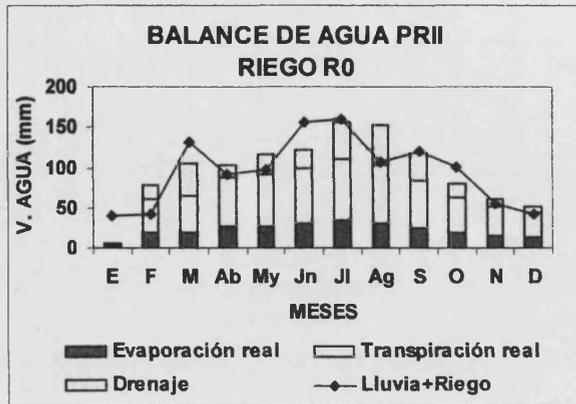


Figura 6.291

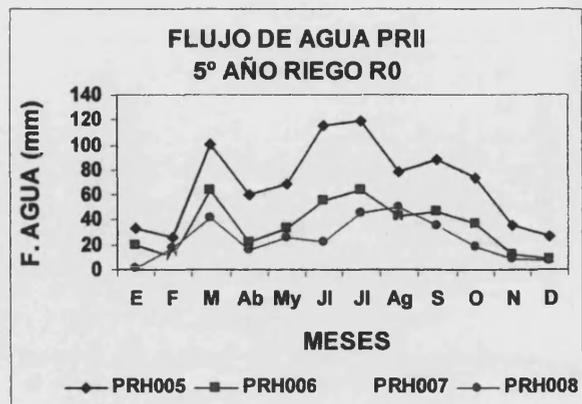


Figura 6.292

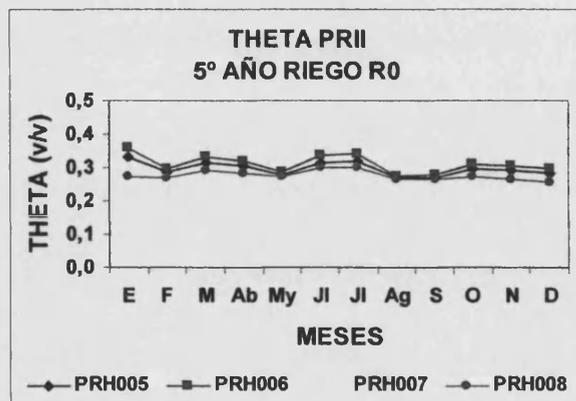


Figura 6.293

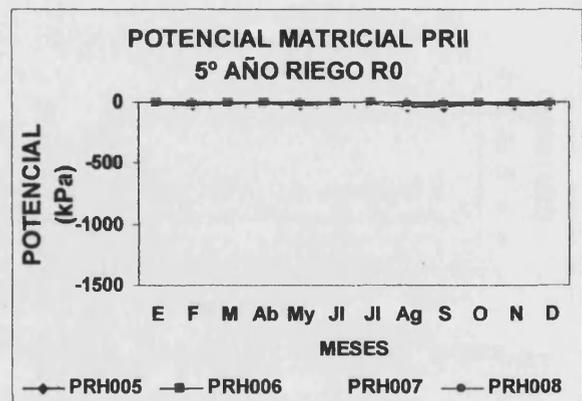


Figura 6.294

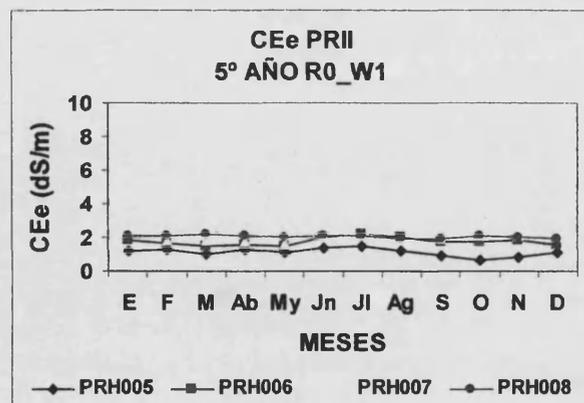


Figura 6.295

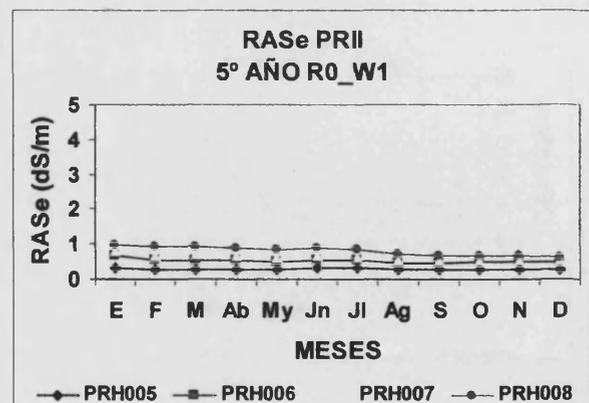


Figura 6.296

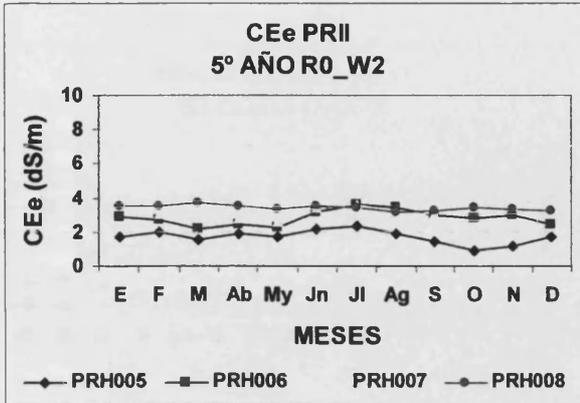


Figura 6.297

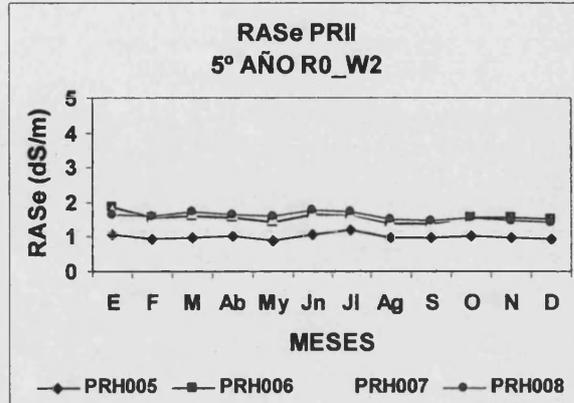


Figura 6.298

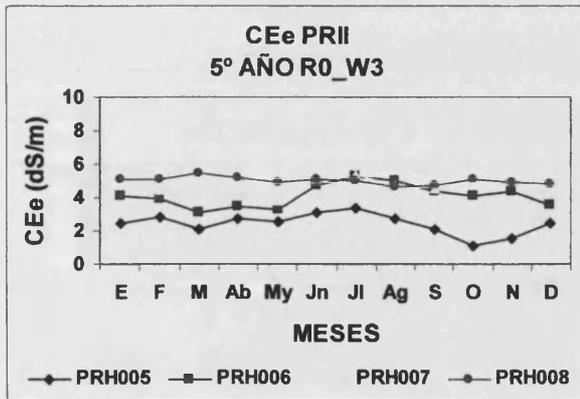


Figura 6.299

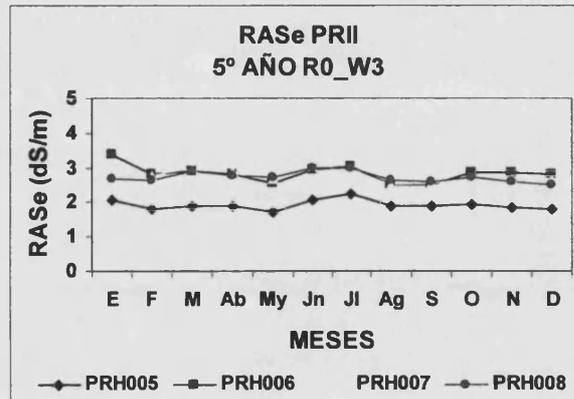


Figura 6.300

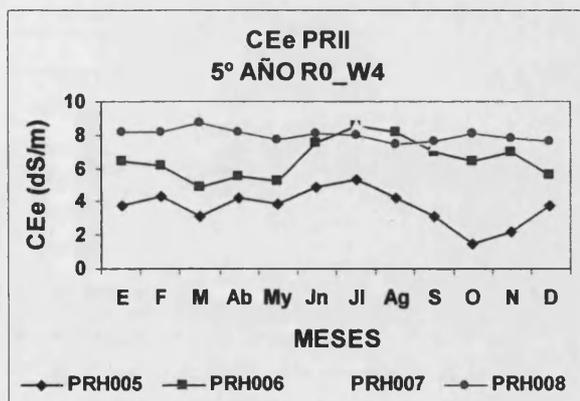


Figura 6.301

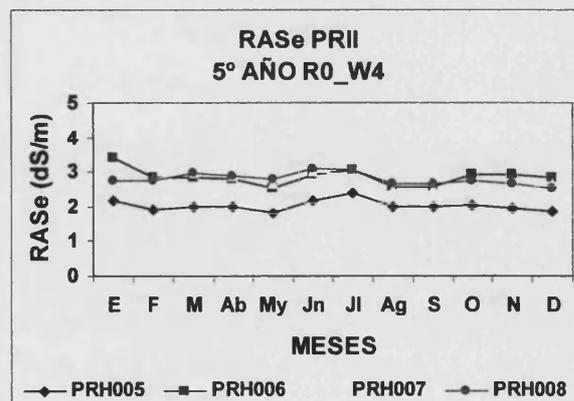


Figura 6.302

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRII RIEGO GOTEO
(DISEÑO RIEGO G0)

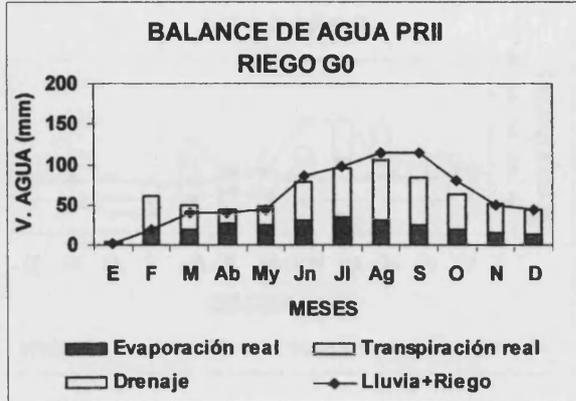


Figura 6.303

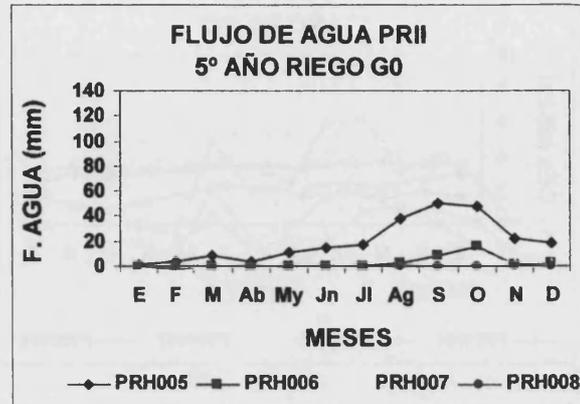


Figura 6.304

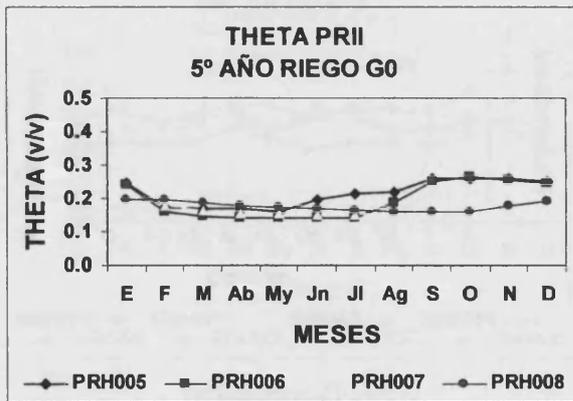


Figura 6.305

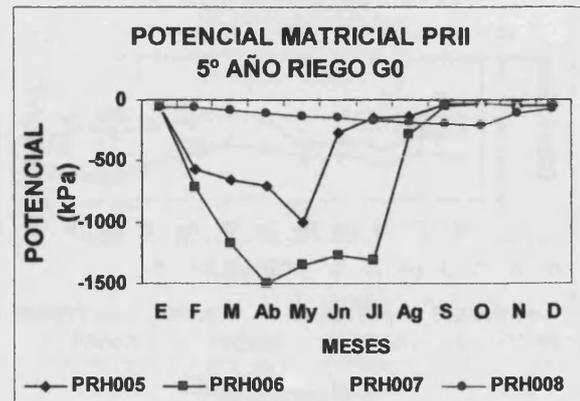


Figura 6.306

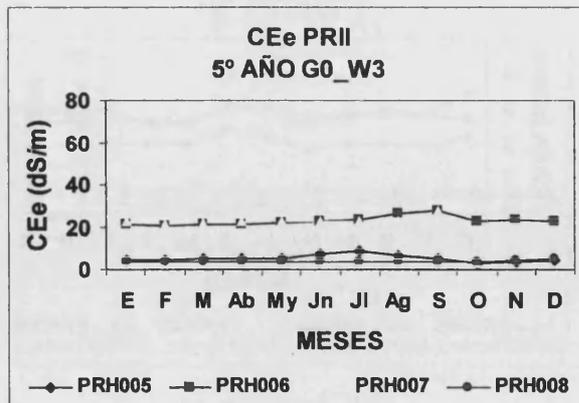


Figura 6.307

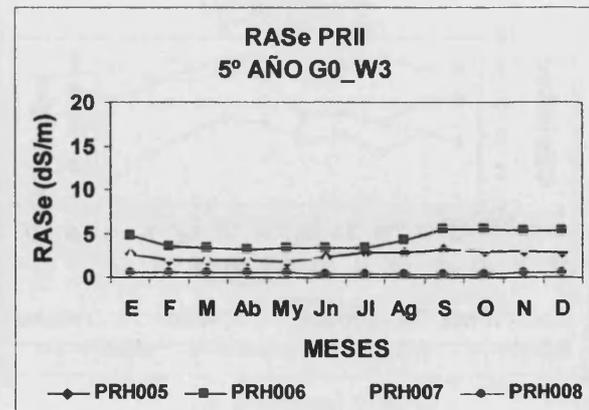


Figura 6.308

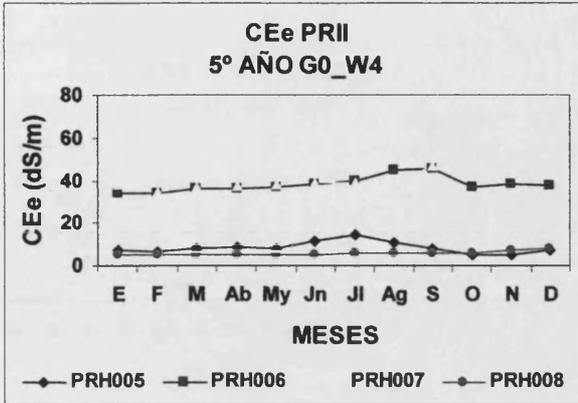


Figura 6.309

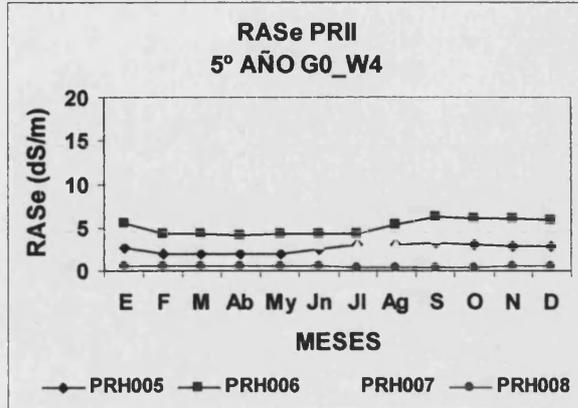


Figura 6.310

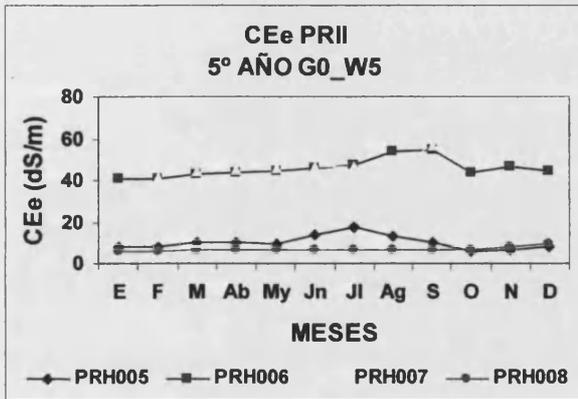


Figura 6.311

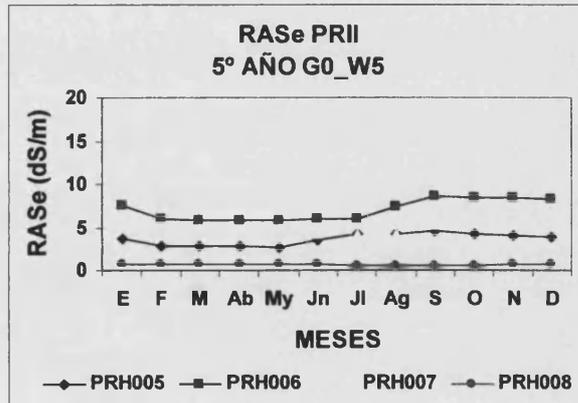


Figura 6.312

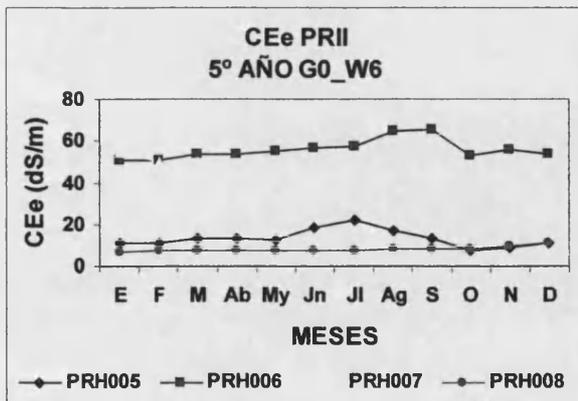


Figura 6.313

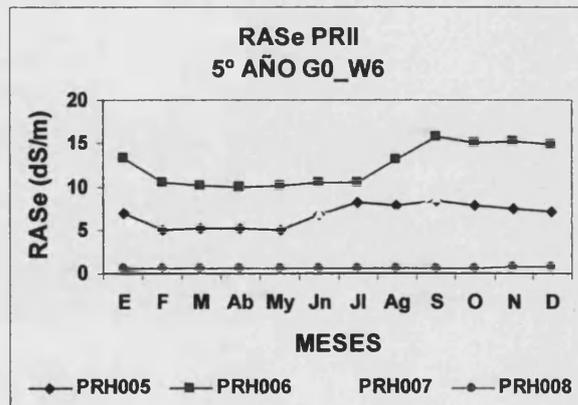


Figura 6.314

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRIII RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO A0)

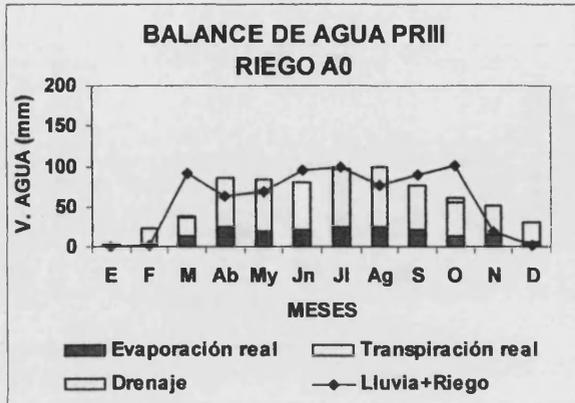


Figura 6.315

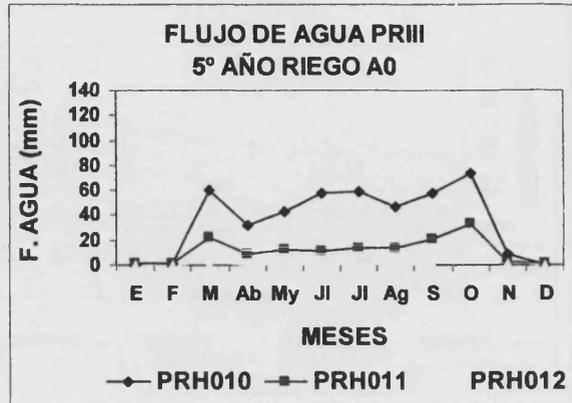


Figura 6.316

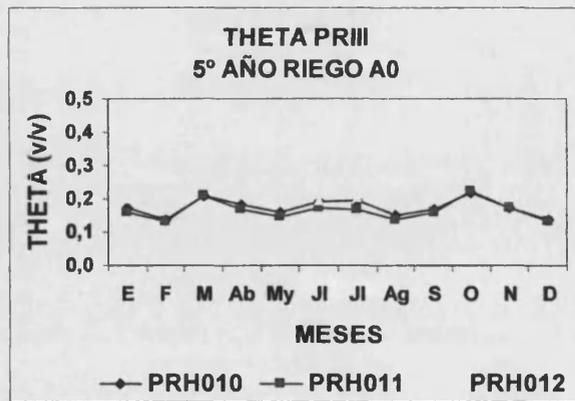


Figura 6.317

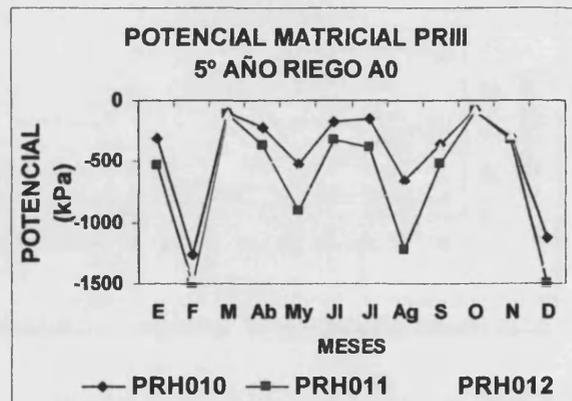


Figura 6.318

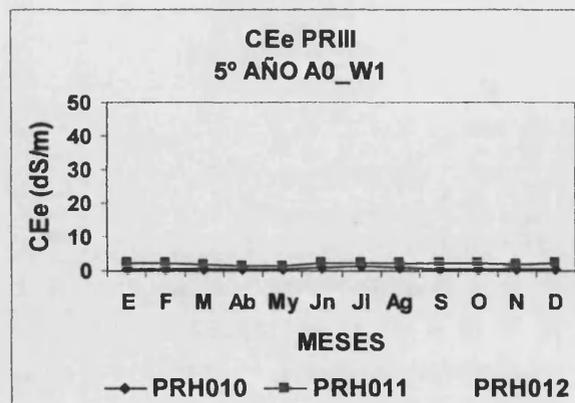


Figura 6.319

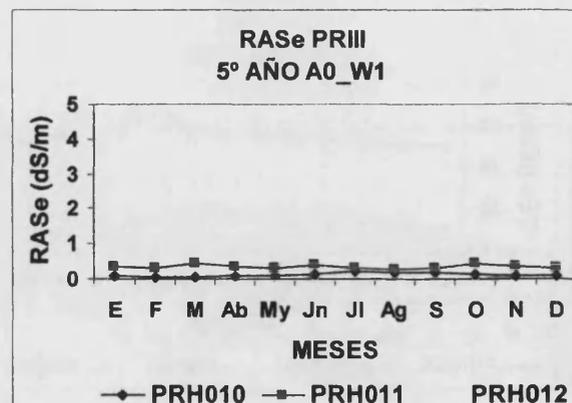


Figura 6.320

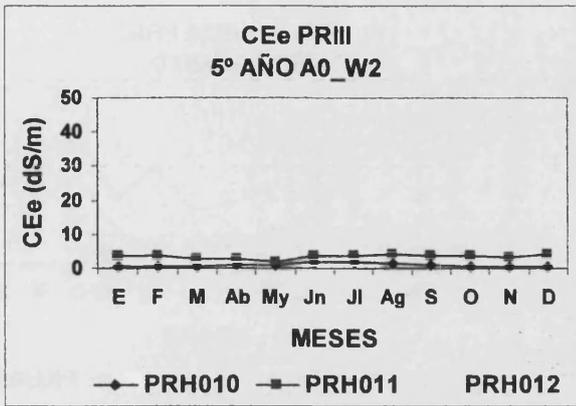


Figura 6.321

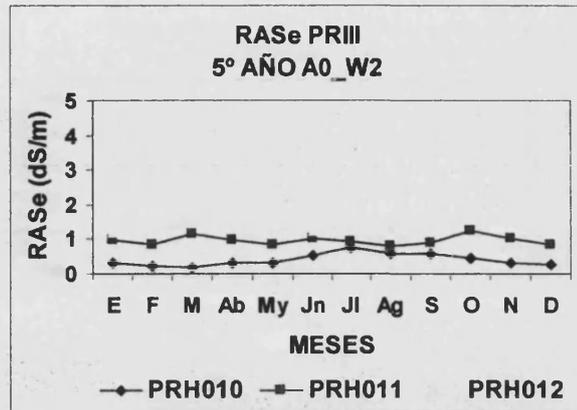


Figura 6.322

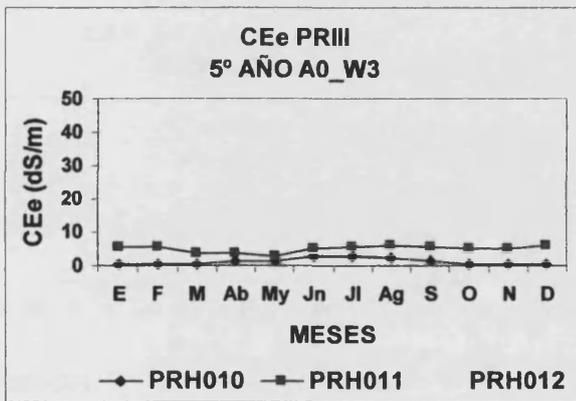


Figura 6.323

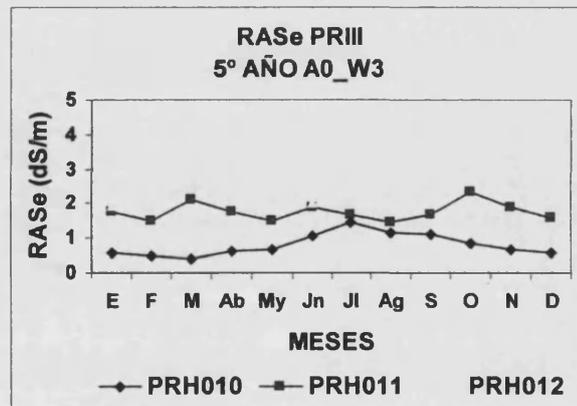


Figura 6.324

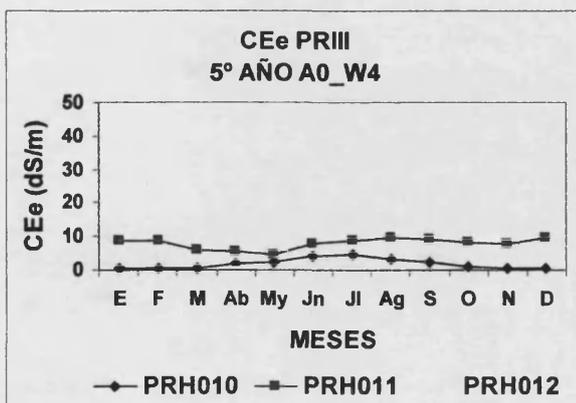


Figura 6.325

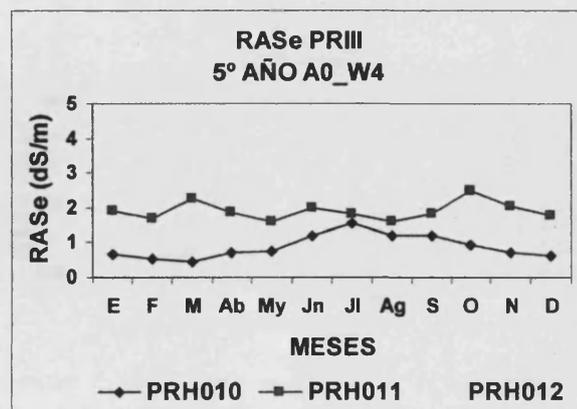


Figura 6.326

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRIII RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO T0)

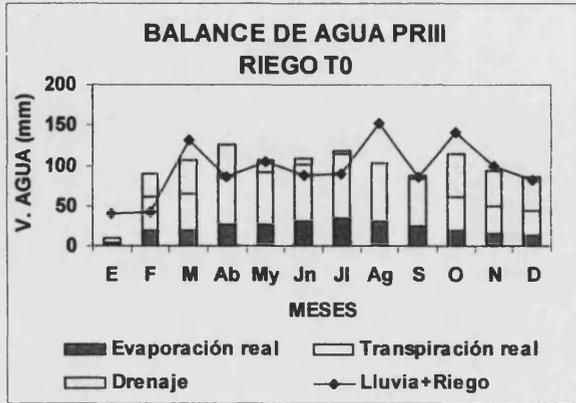


Figura 6.327

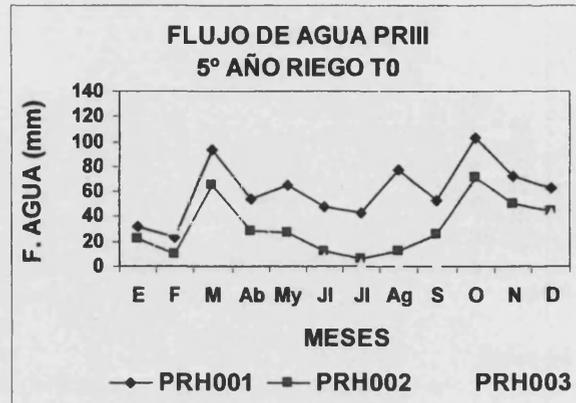


Figura 6.328

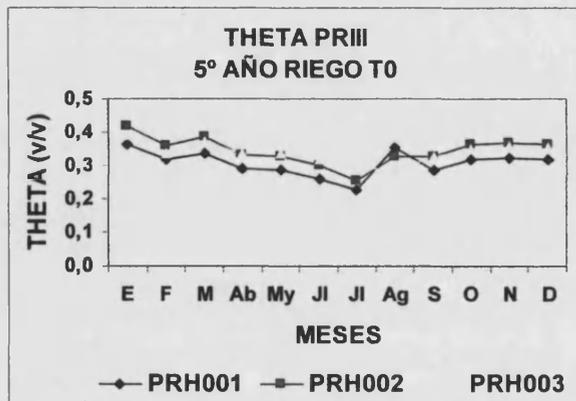


Figura 6.329

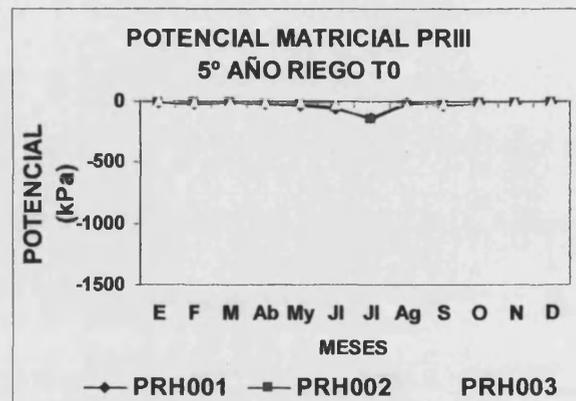


Figura 6.330

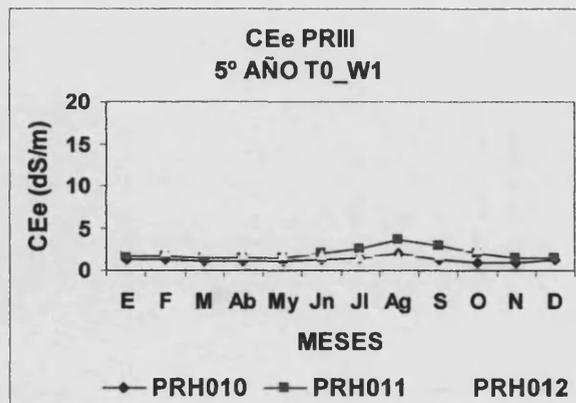


Figura 6.331

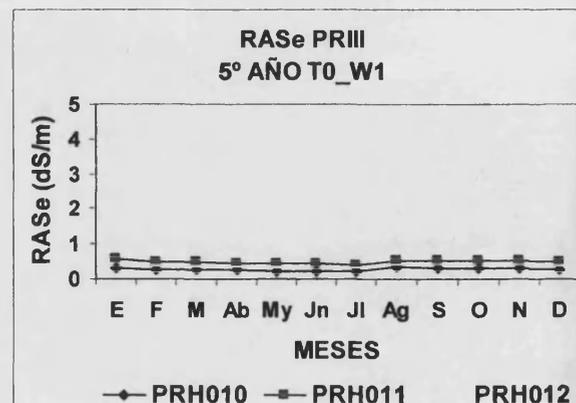


Figura 6.332

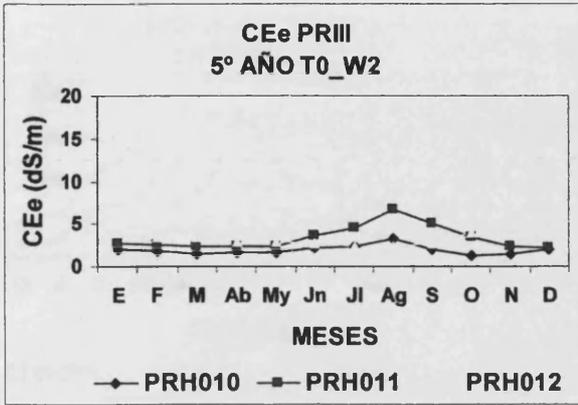


Figura 6.333

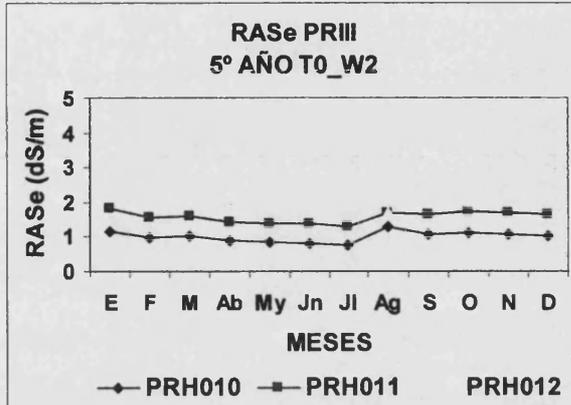


Figura 6.334

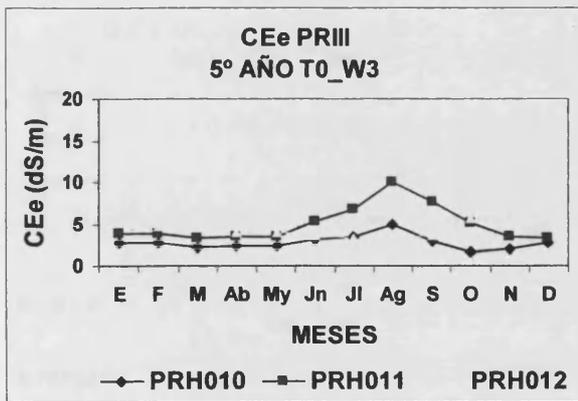


Figura 6.335

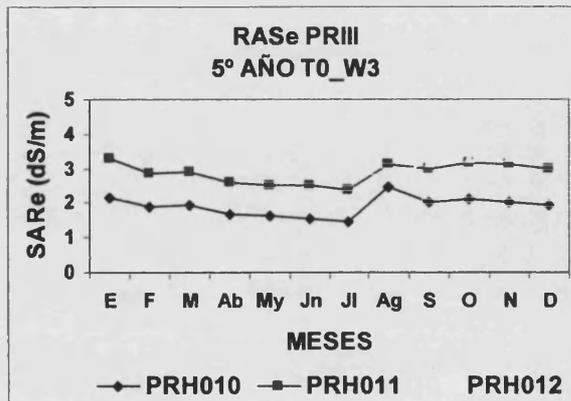


Figura 6.336

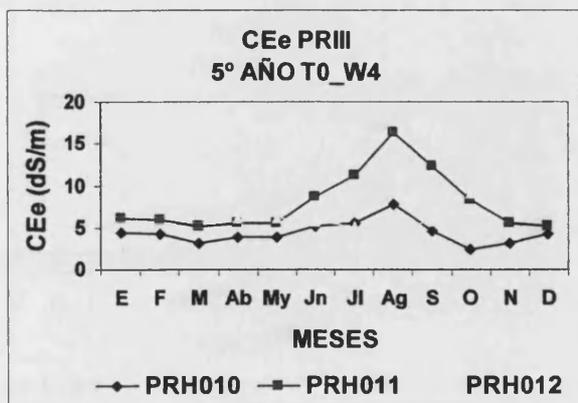


Figura 6.337

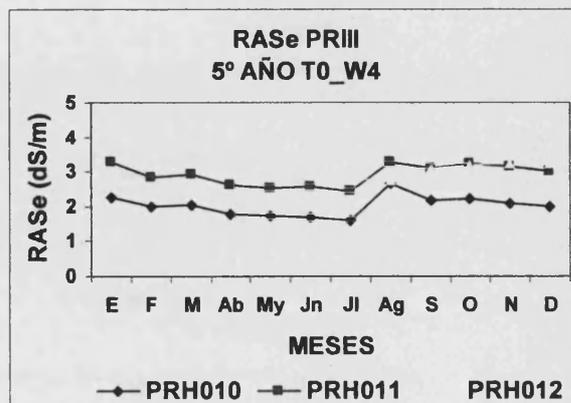


Figura 6.338

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRIII RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO R0)

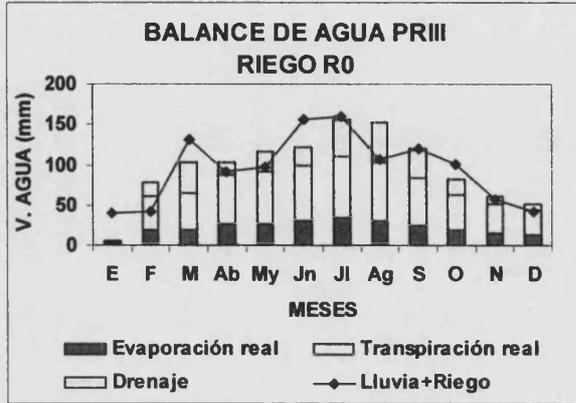


Figura 6.339

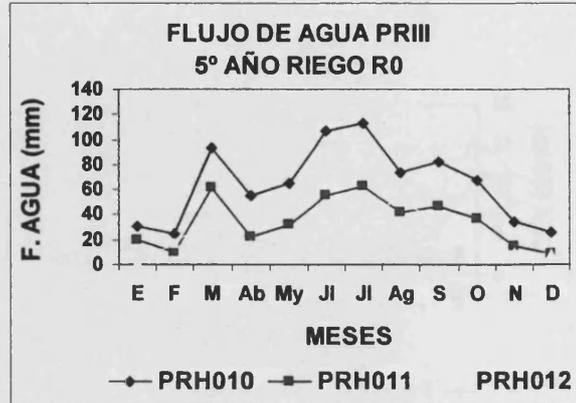


Figura 6.340

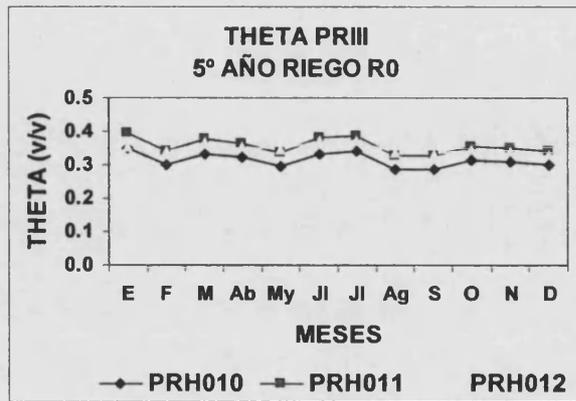


Figura 6.341

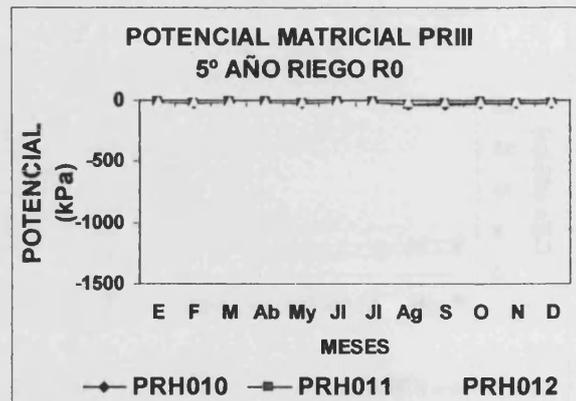


Figura 6.342

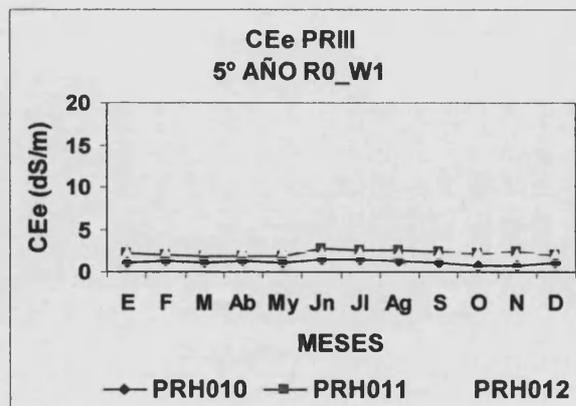


Figura 6.343

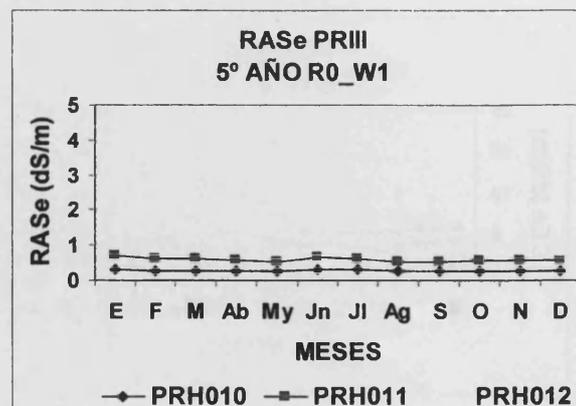


Figura 6.344

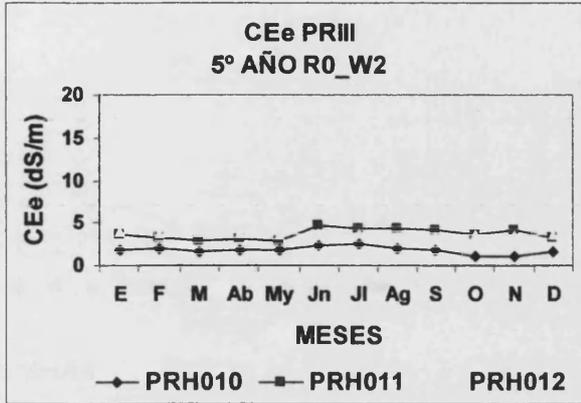


Figura 6.345

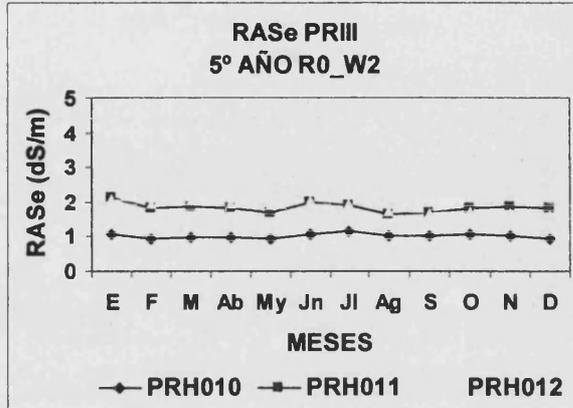


Figura 6.346

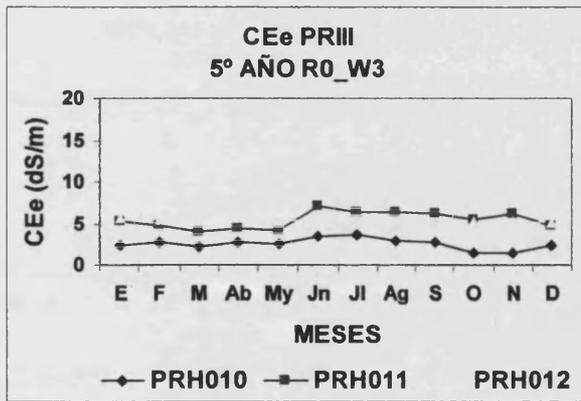


Figura 6.347

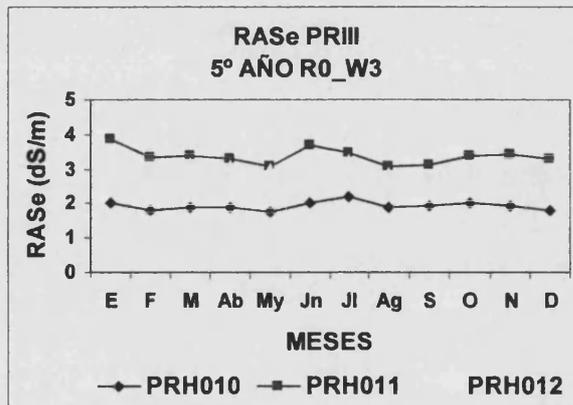


Figura 6.348

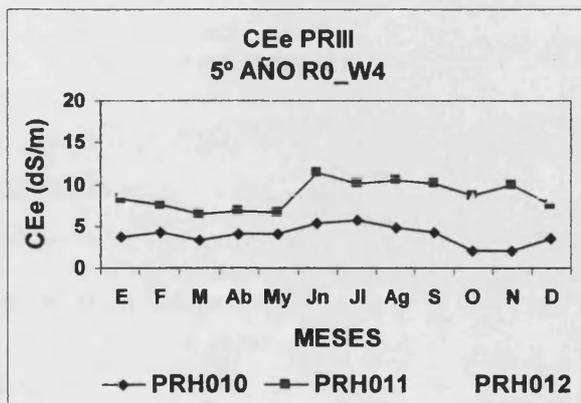


Figura 6.349

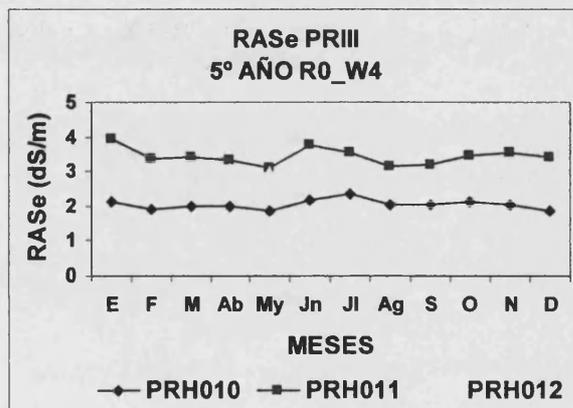


Figura 6.350

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRIII RIEGO GOTEO
(DISEÑO RIEGO G0)

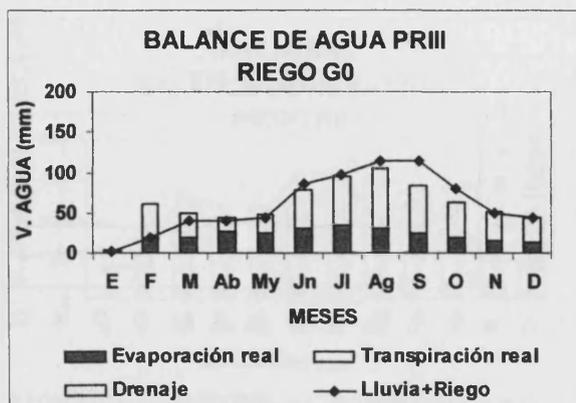


Figura 6.351

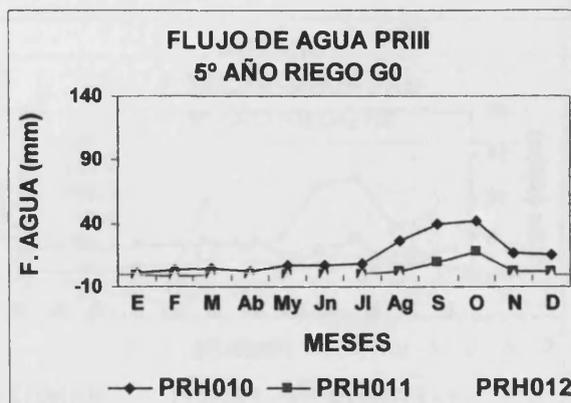


Figura 6.352

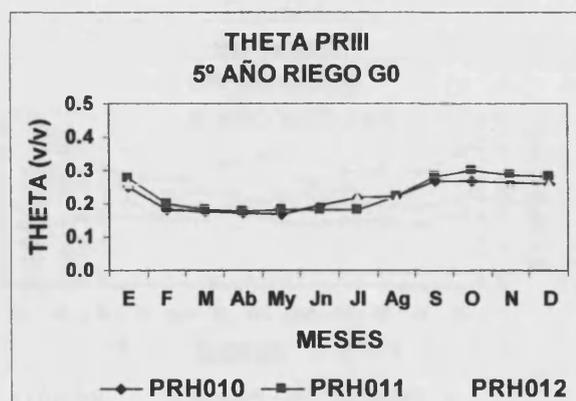


Figura 6.353

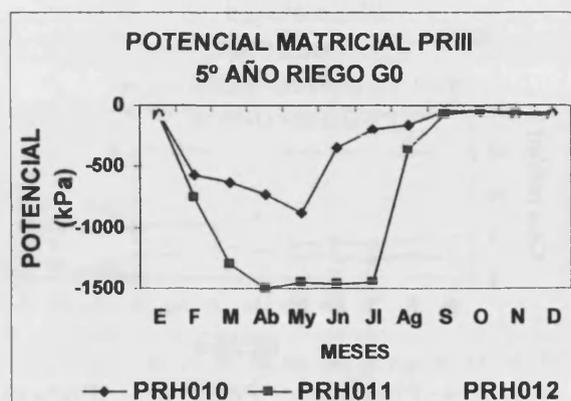


Figura 6.354

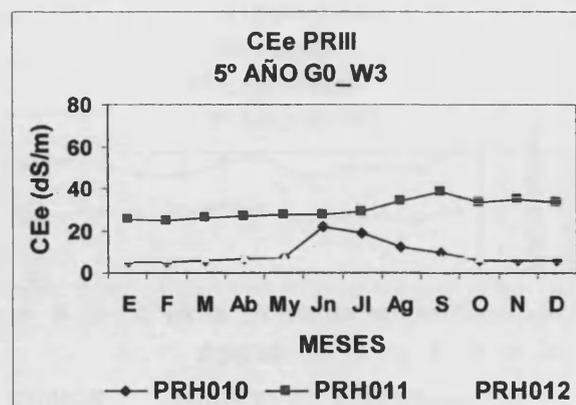


Figura 6.355

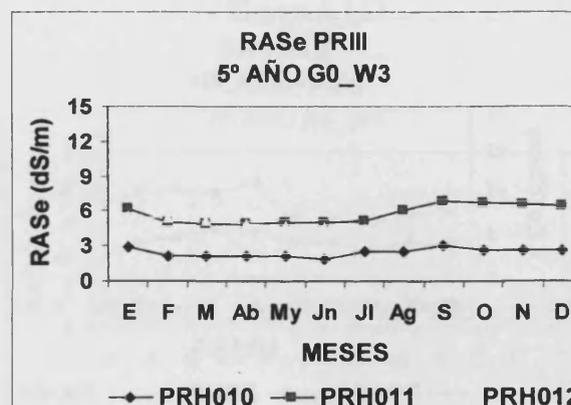


Figura 6.356

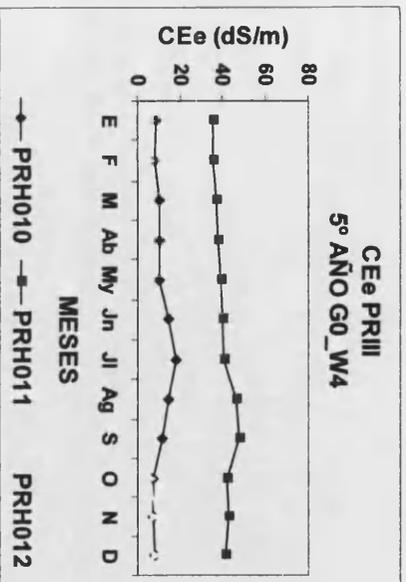


Figura 6.357

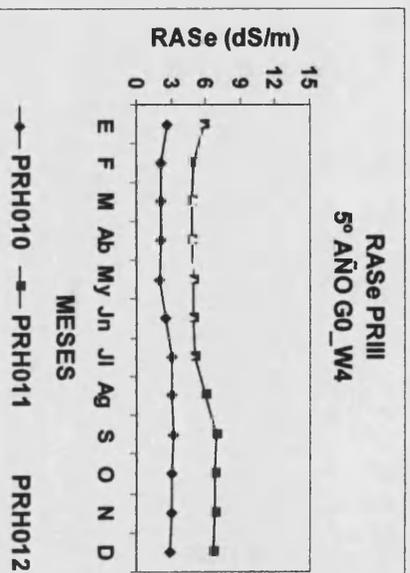


Figura 6.358

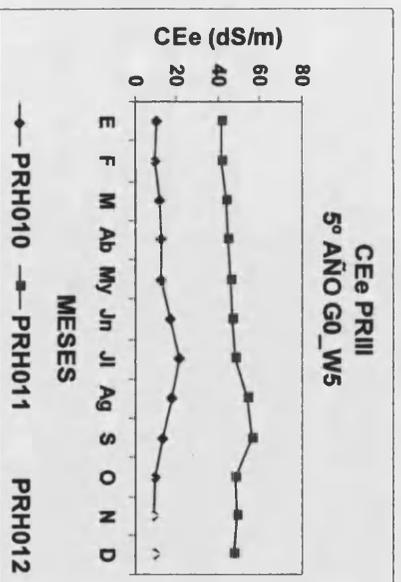


Figura 6.359

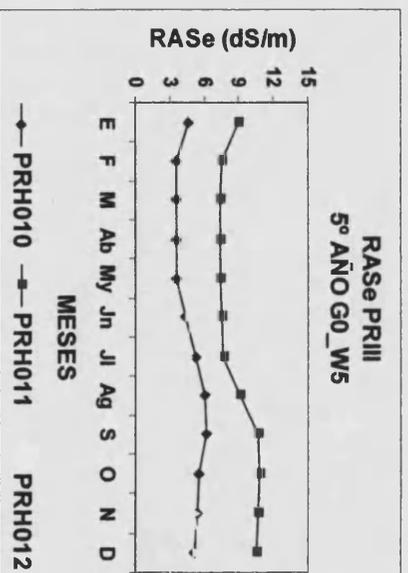


Figura 6.360

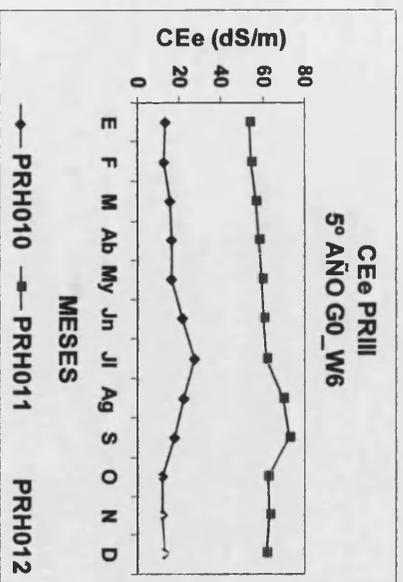


Figura 6.361

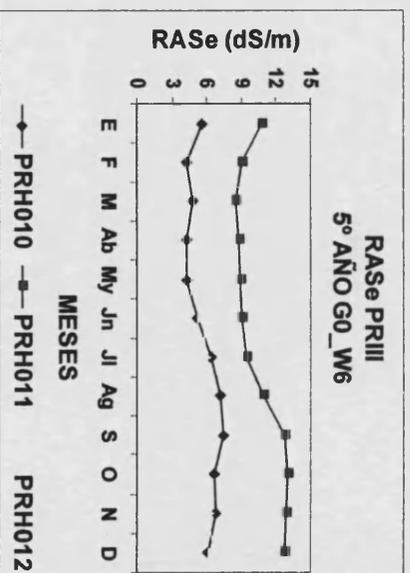


Figura 6.362

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRIV RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO B0)

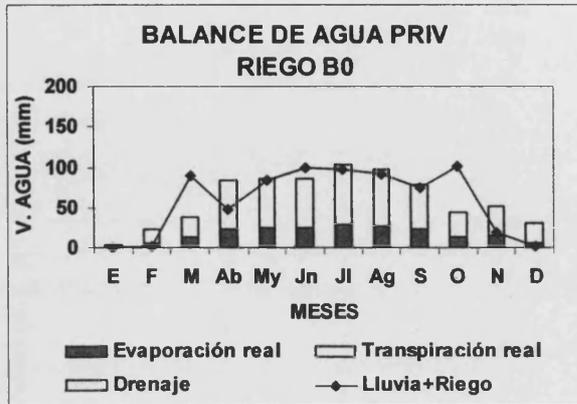


Figura 6.363

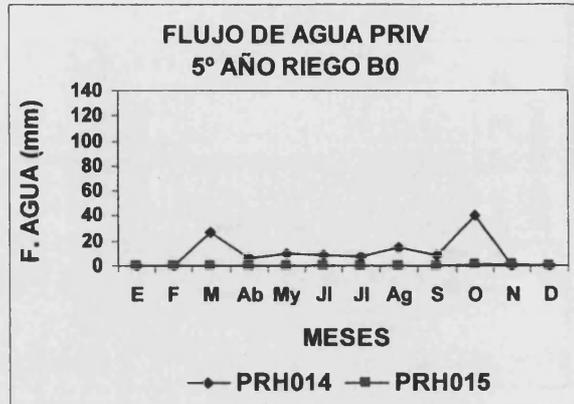


Figura 6.364

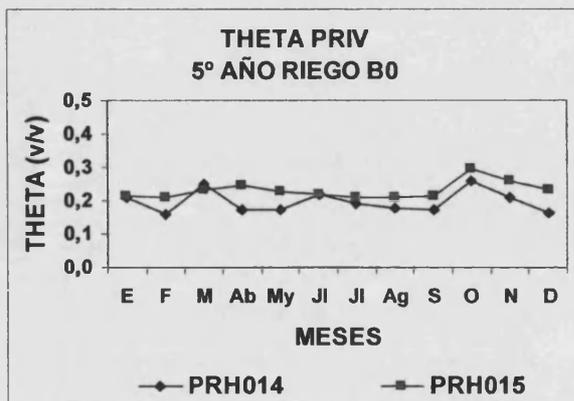


Figura 6.365

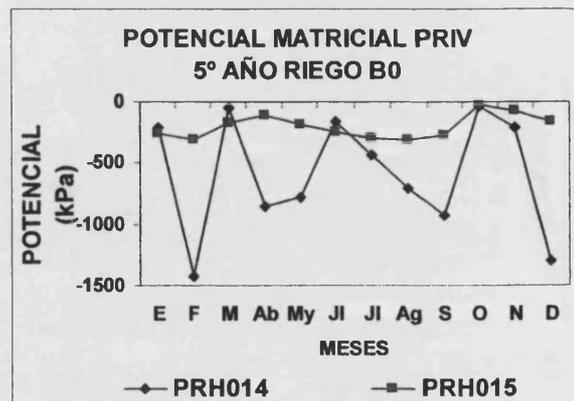


Figura 6.366

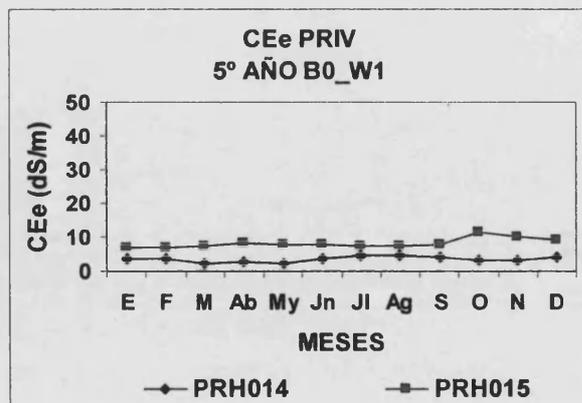


Figura 6.367

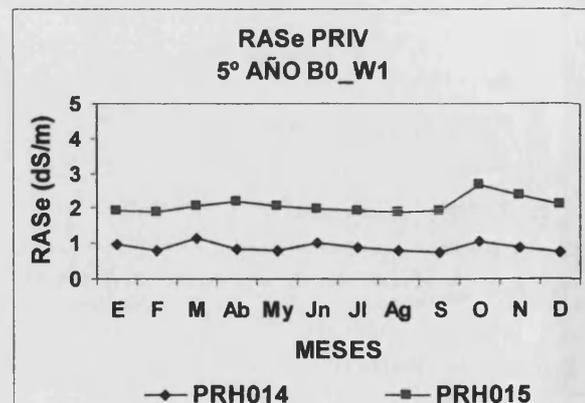


Figura 6.368

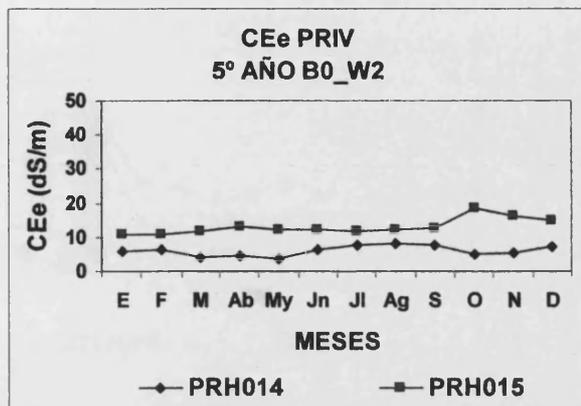


Figura 6.369

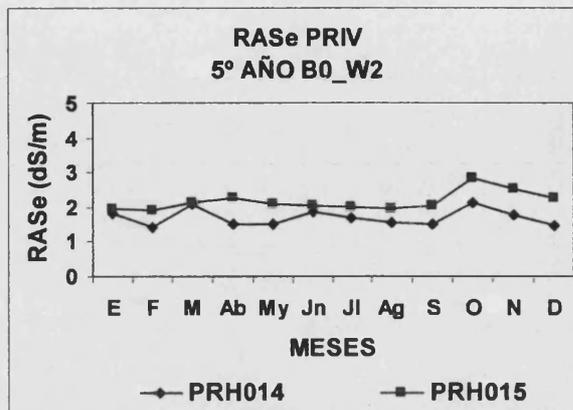


Figura 6.370

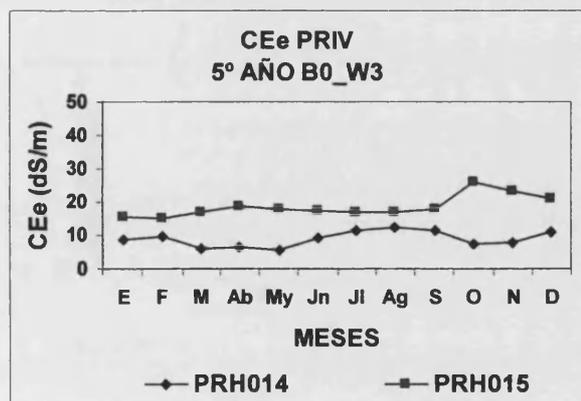


Figura 6.371

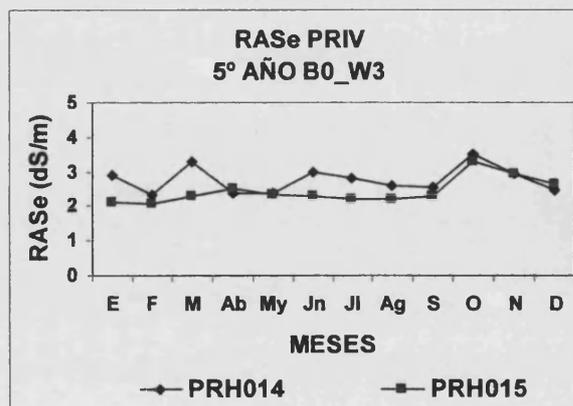


Figura 6.372

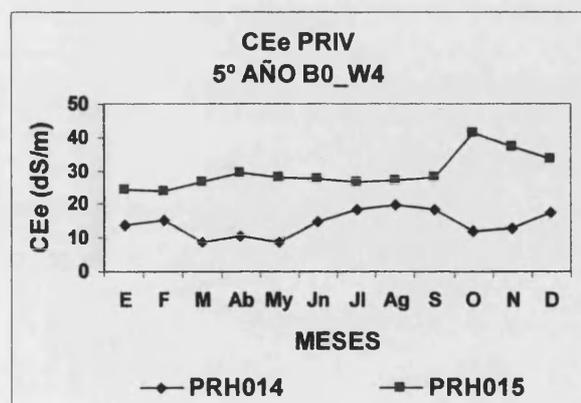


Figura 6.373

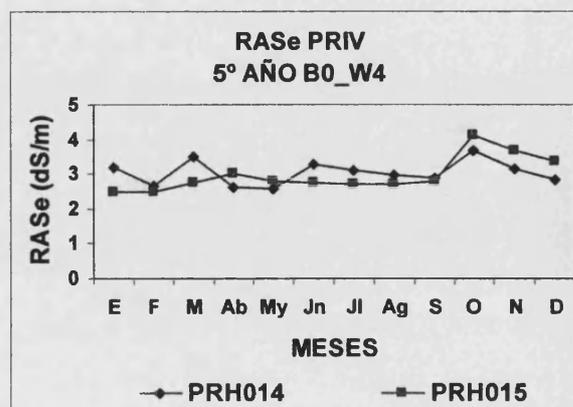


Figura 6.374

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRIV RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO T0)

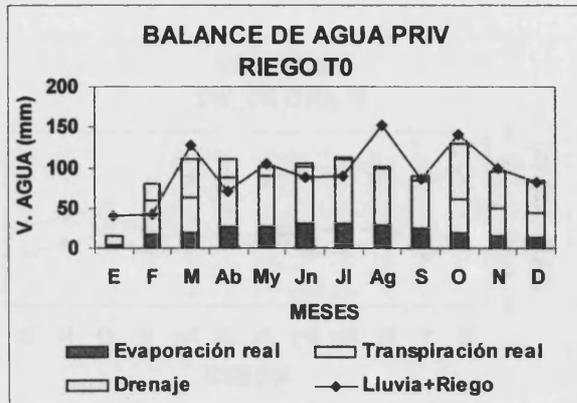


Figura 6.375

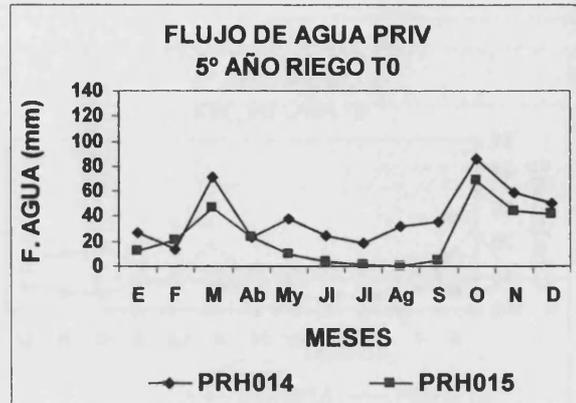


Figura 6.376

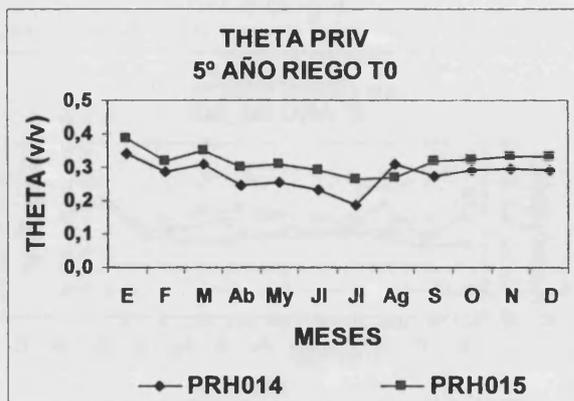


Figura 6.377

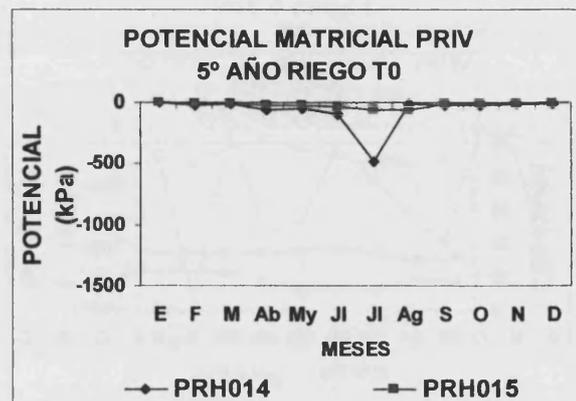


Figura 6.378

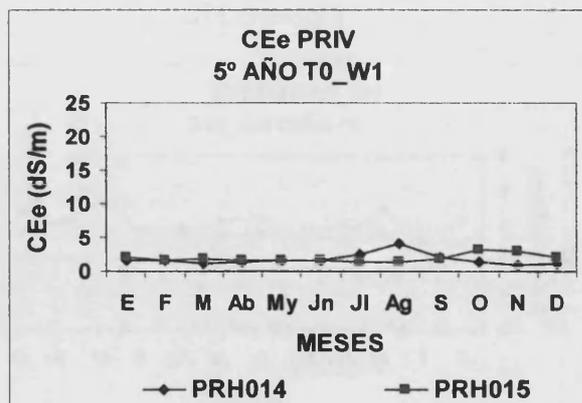


Figura 6.379

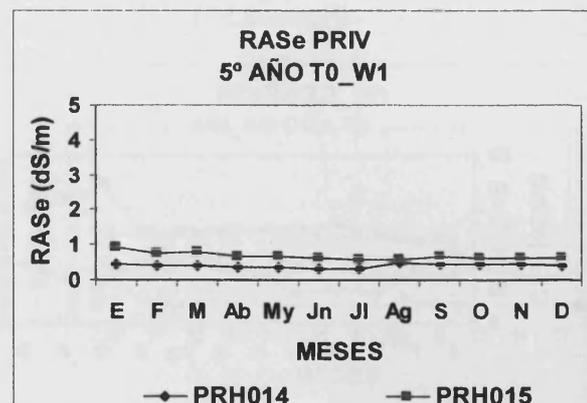


Figura 6.380

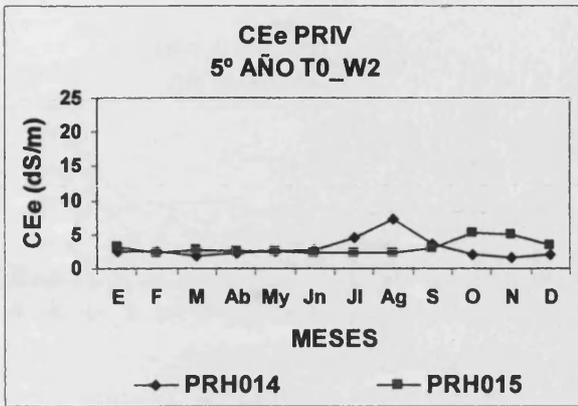


Figura 6.381

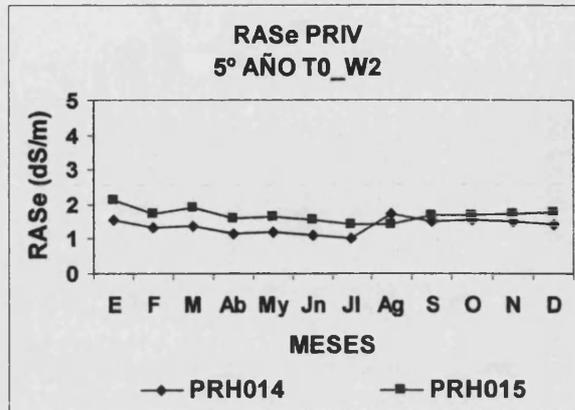


Figura 6.382

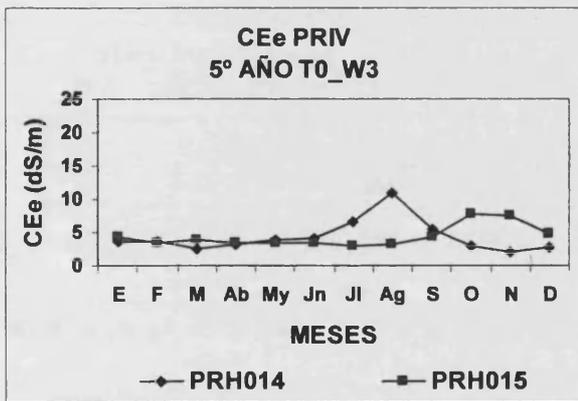


Figura 6.383

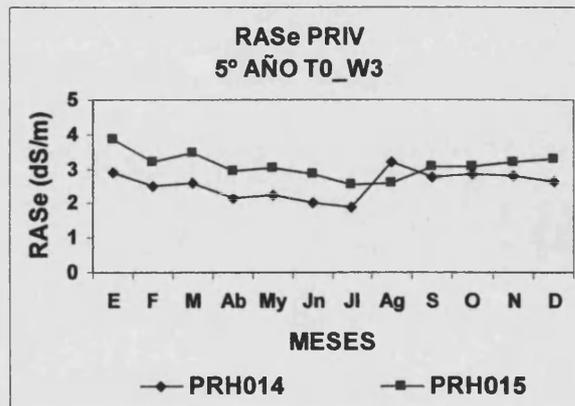


Figura 6.384

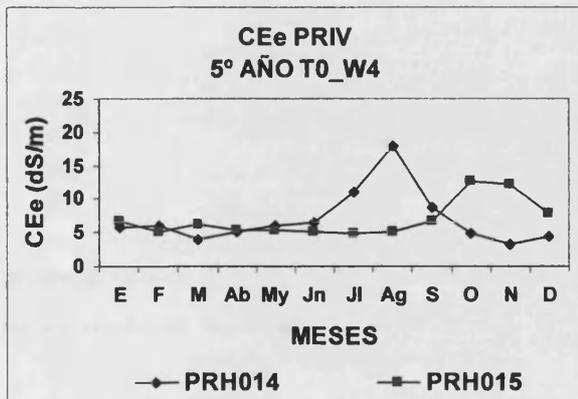


Figura 6.385

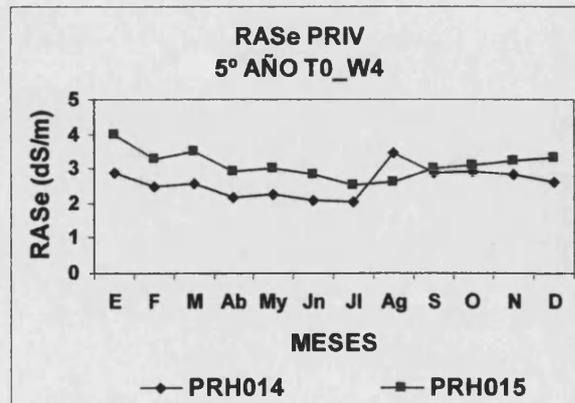


Figura 6.386

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRIV RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO R0)

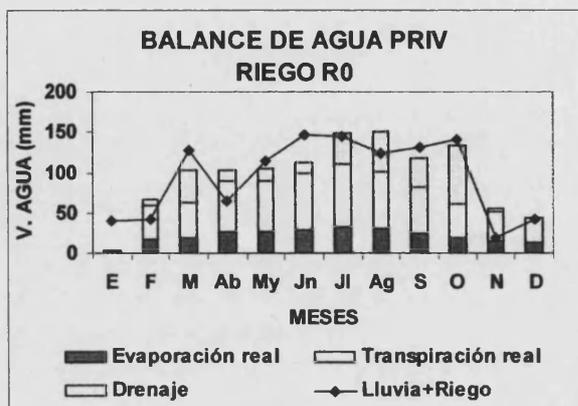


Figura 6.387

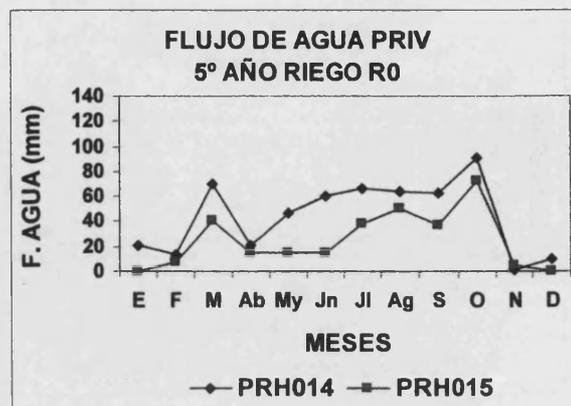


Figura 6.388

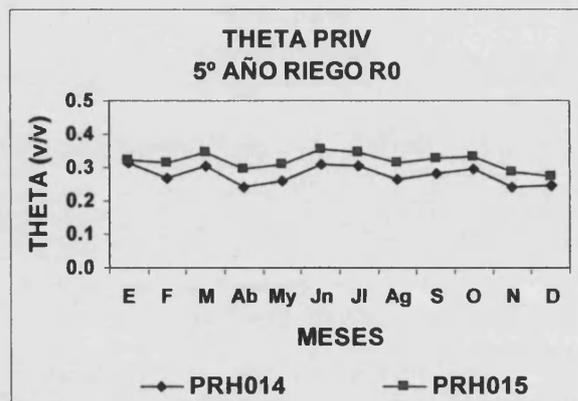


Figura 6.389

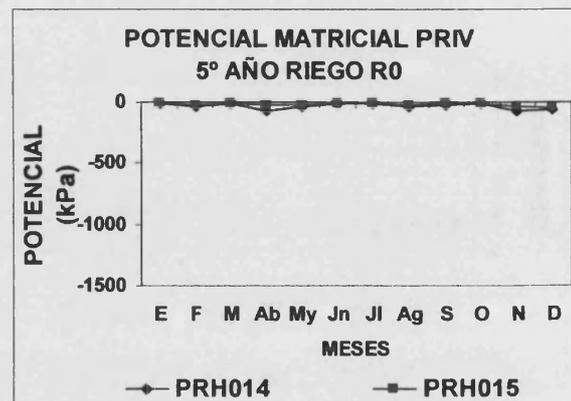


Figura 6.390

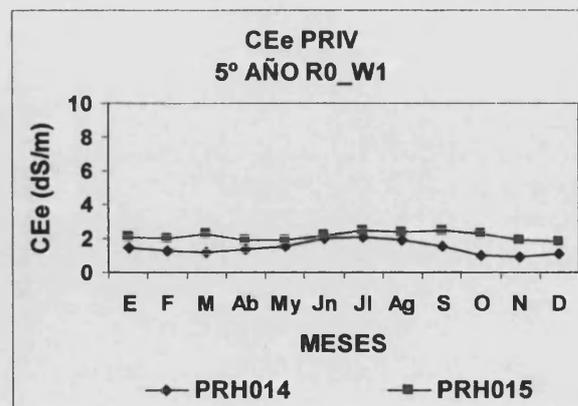


Figura 6.391

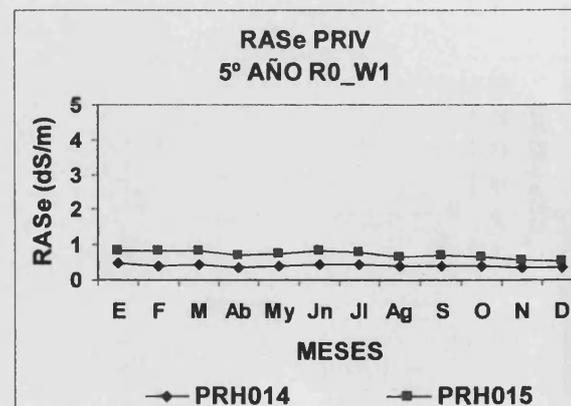


Figura 6.392

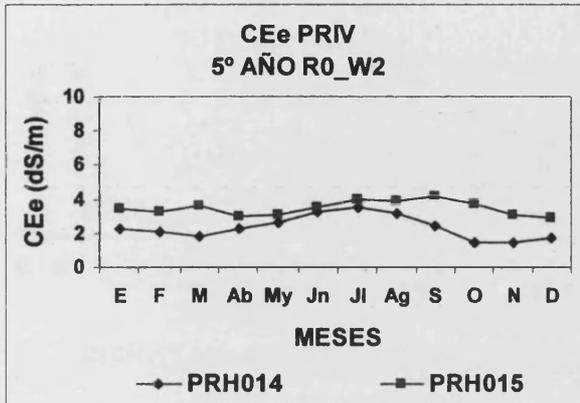


Figura 6.393

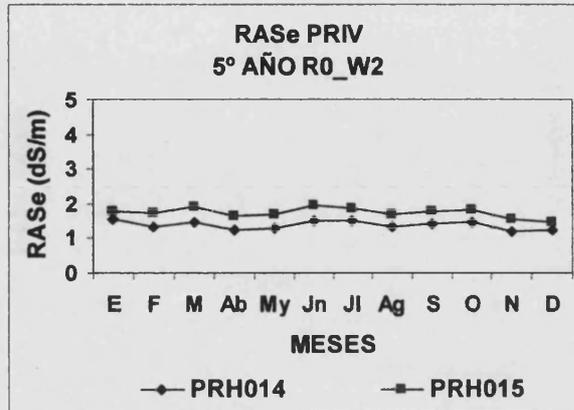


Figura 6.394

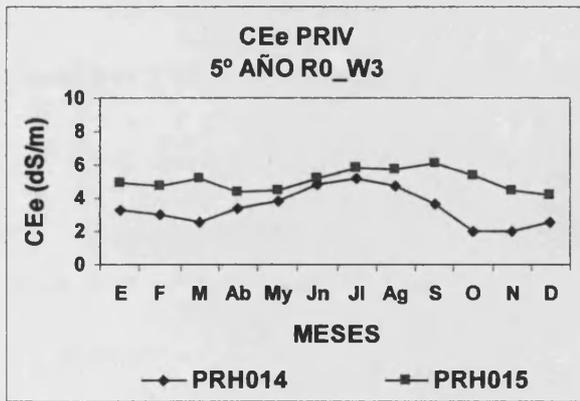


Figura 6.395

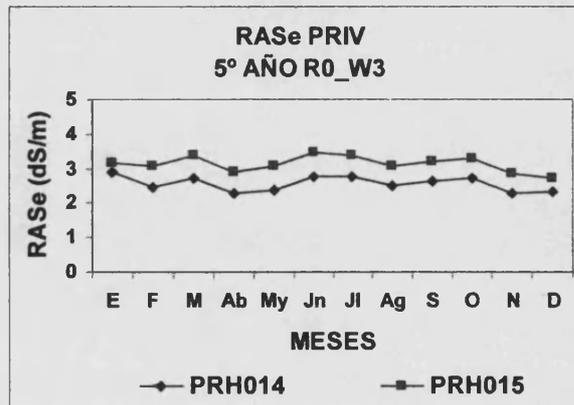


Figura 6.396

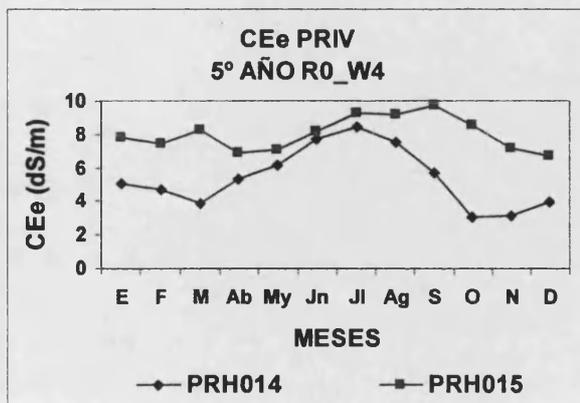


Figura 6.397

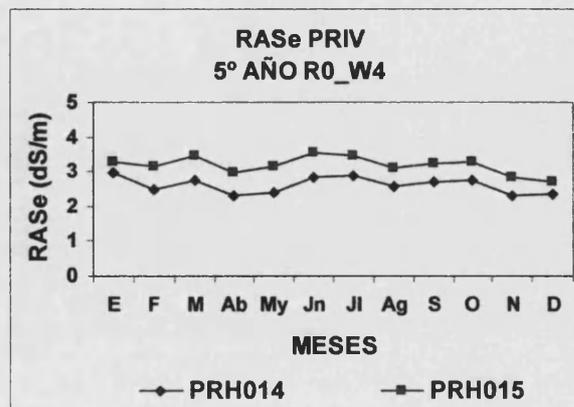


Figura 6.398

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRIV RIEGO GOTEO
(DISEÑO RIEGO G0)

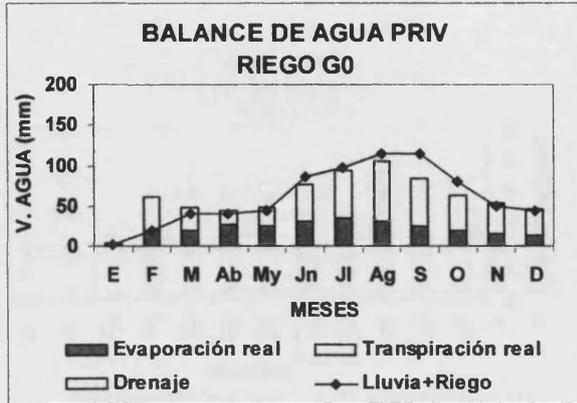


Figura 6.399

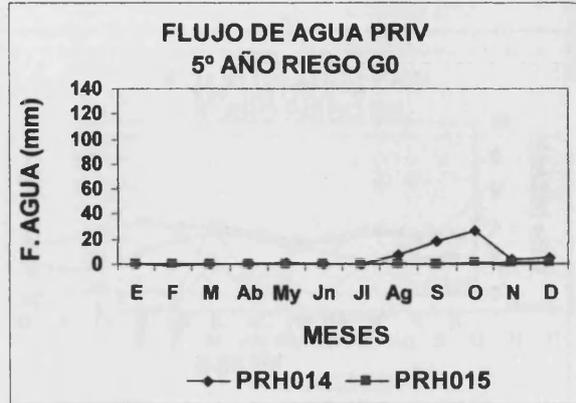


Figura 6.400

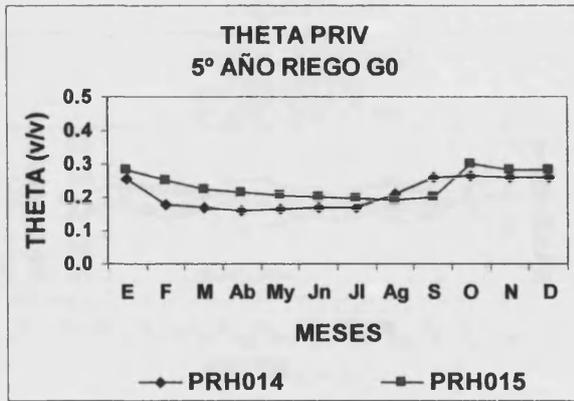


Figura 6.401

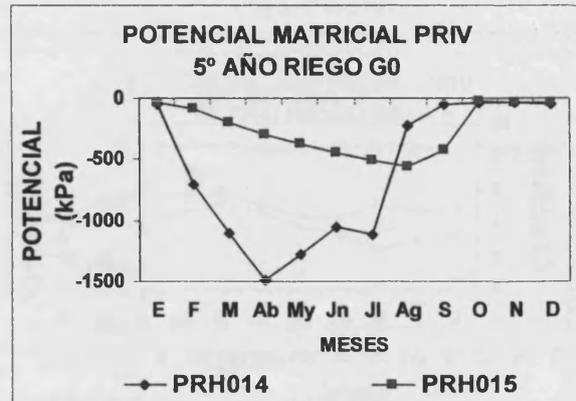


Figura 6.402

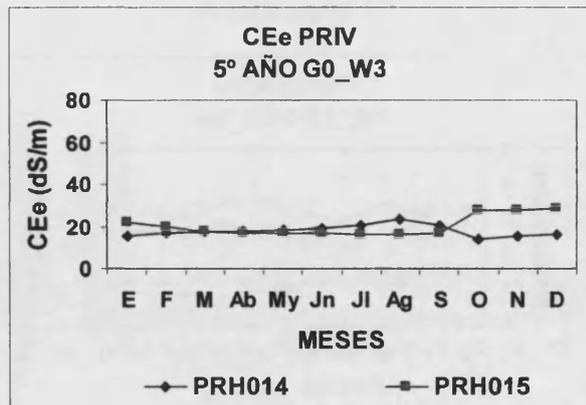


Figura 6.403

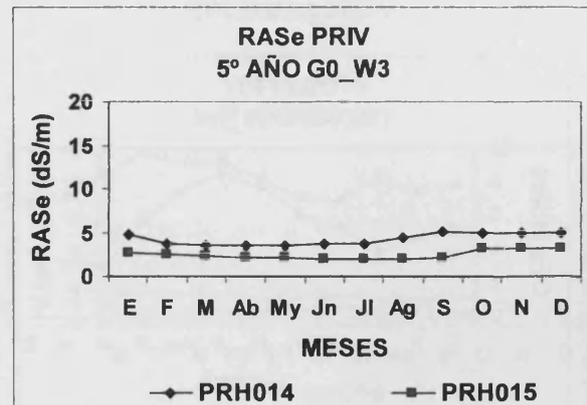


Figura 6.404

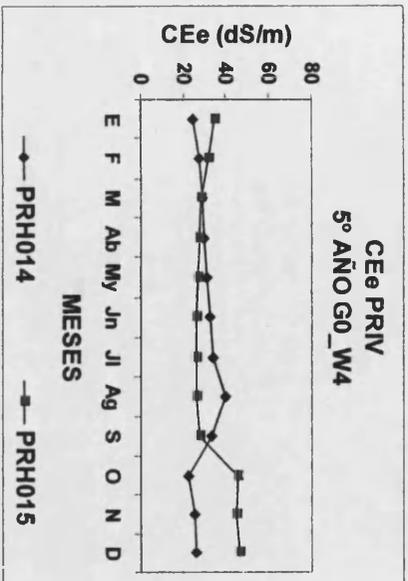


Figura 6.405

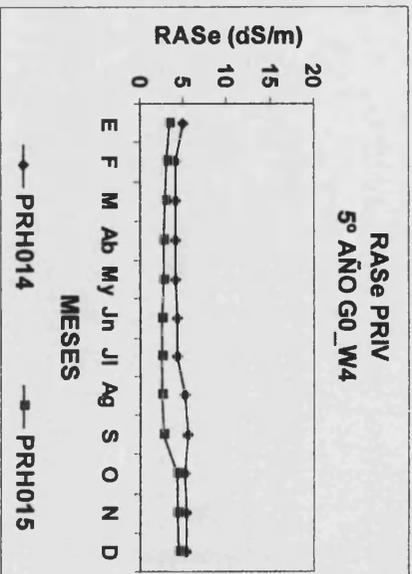


Figura 6.406

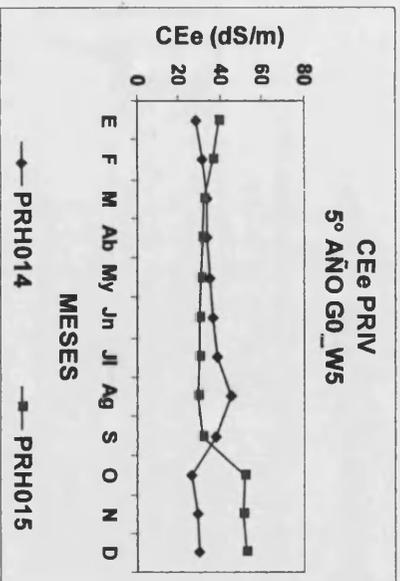


Figura 6.407

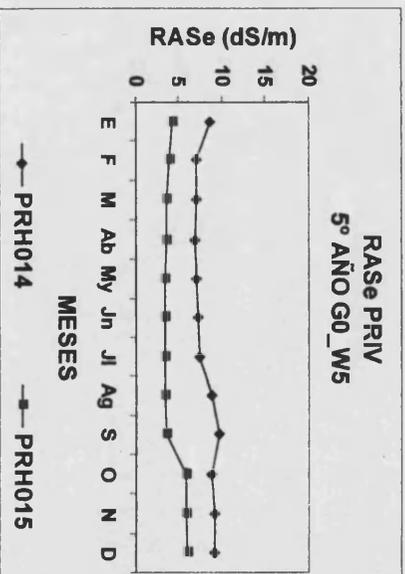


Figura 6.408

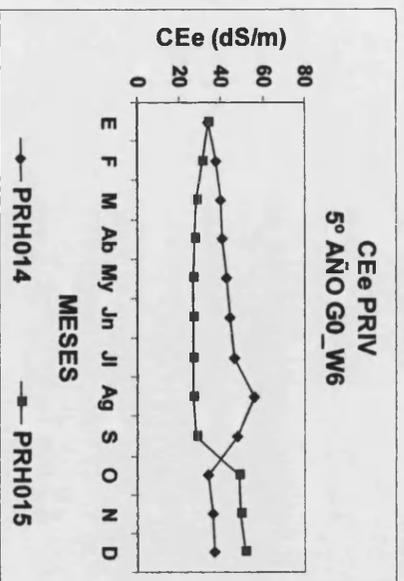


Figura 6.409

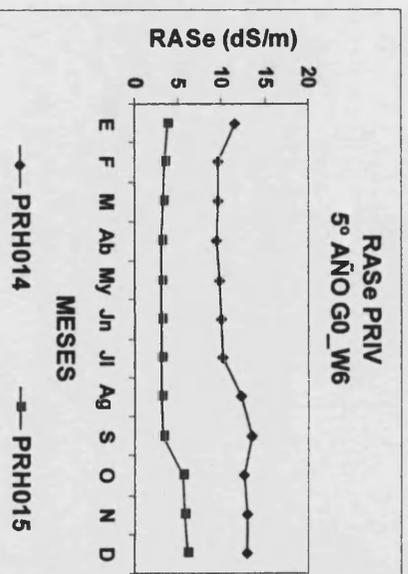


Figura 6.410

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRV RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO B0)

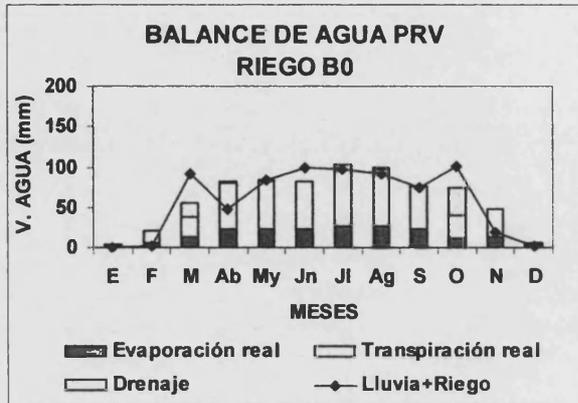


Figura 6.411

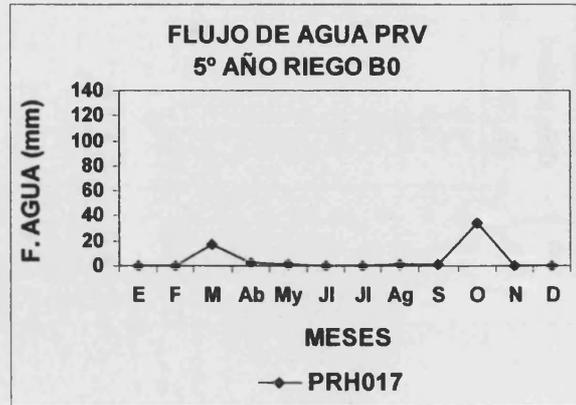


Figura 6.412

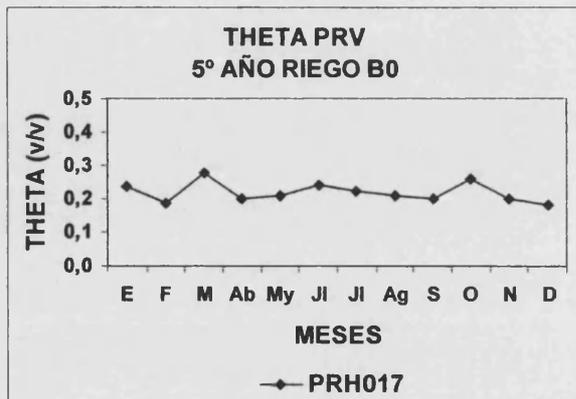


Figura 6.413

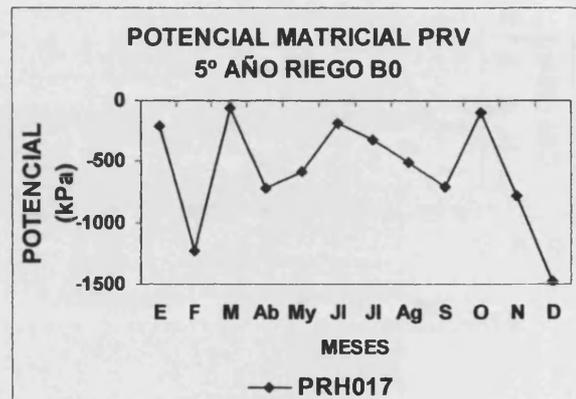


Figura 6.414

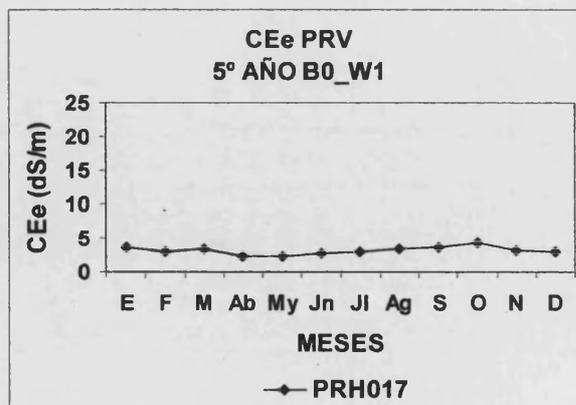


Figura 6.415

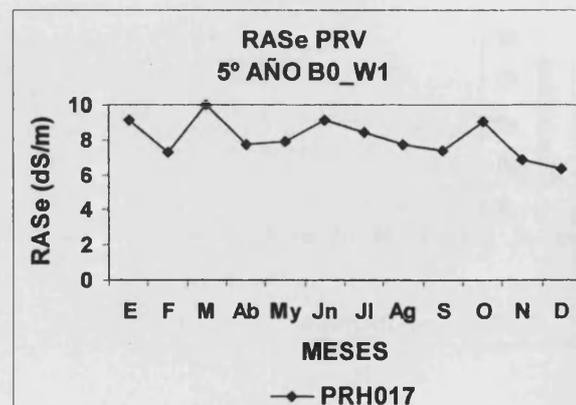


Figura 6.416

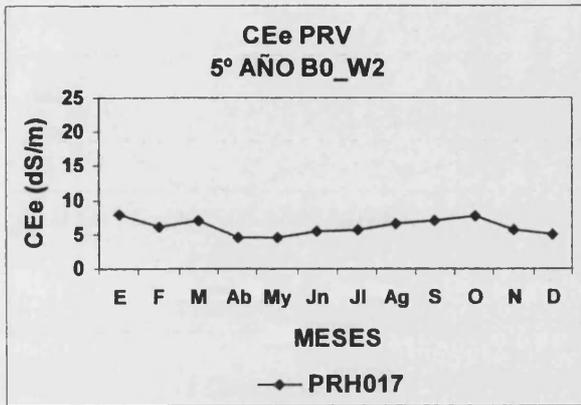


Figura 6.417

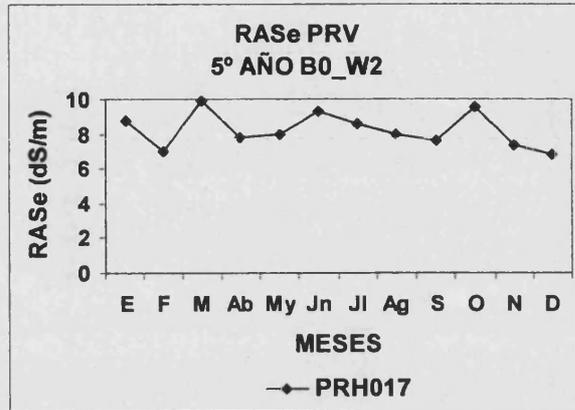


Figura 6.418

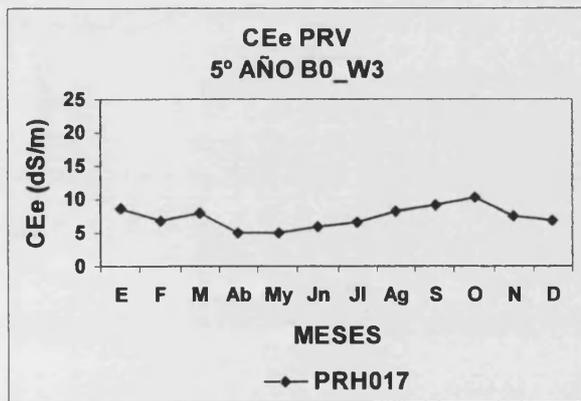


Figura 6.419

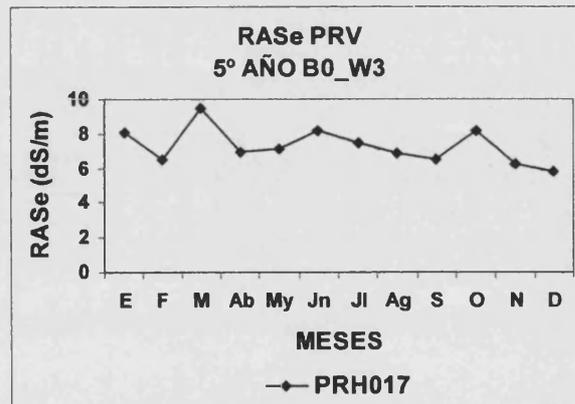


Figura 6.420

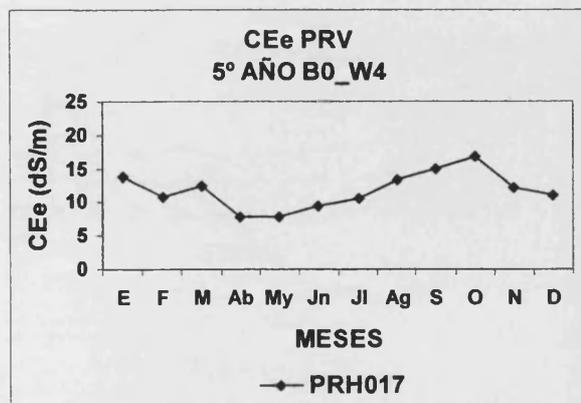


Figura 6.421

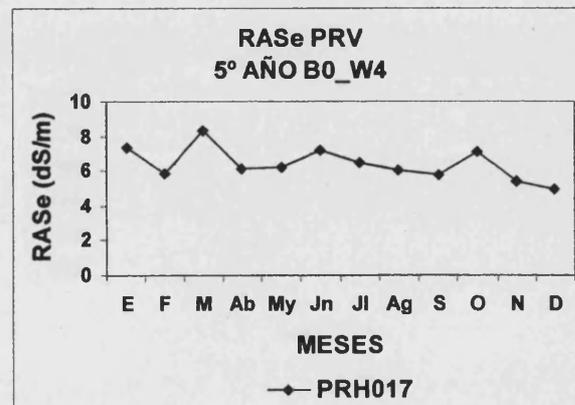


Figura 6.422

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRV RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO T0)

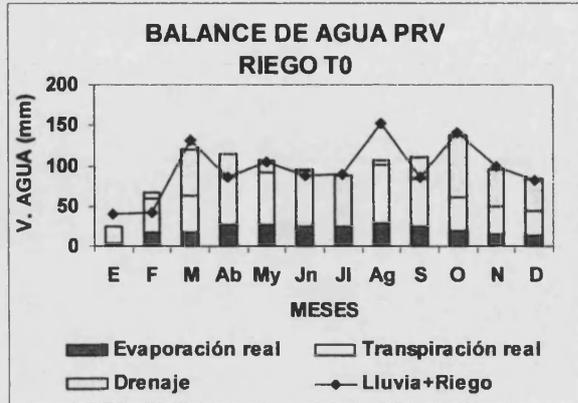


Figura 6.423

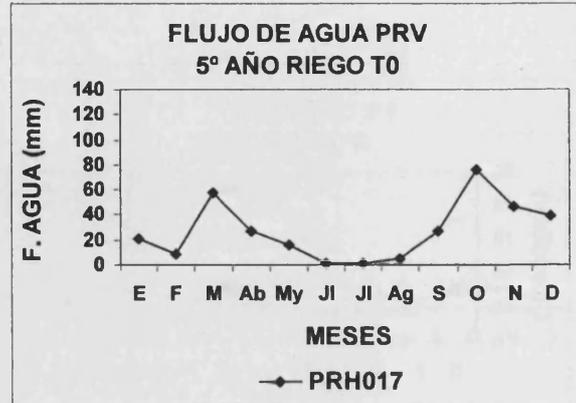


Figura 6.424

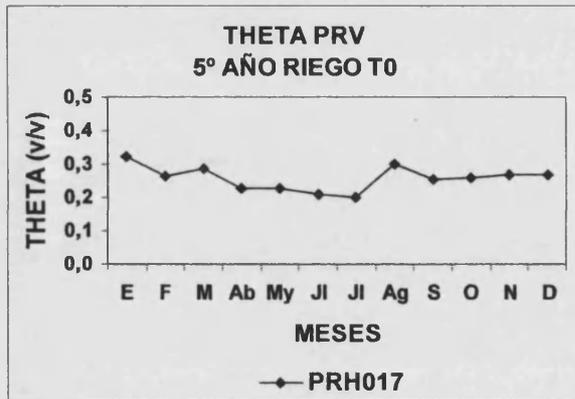


Figura 6.425

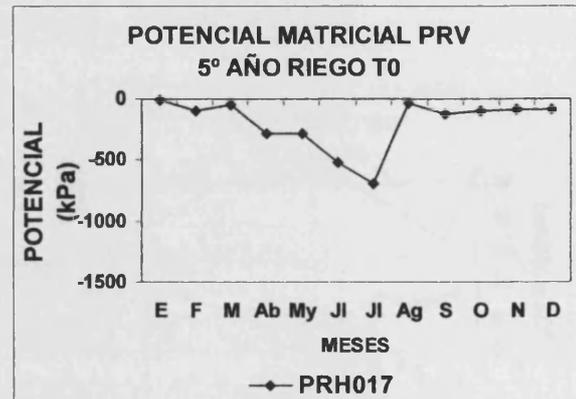


Figura 6.426

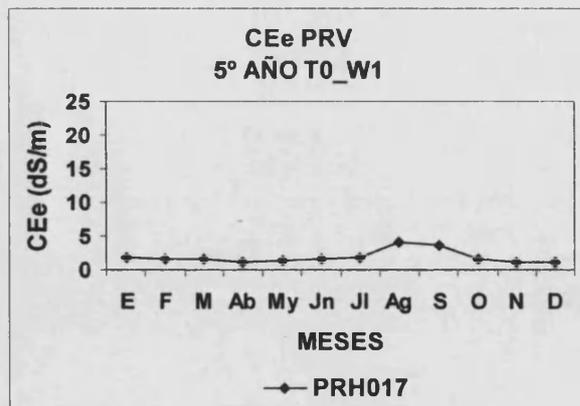


Figura 6.427

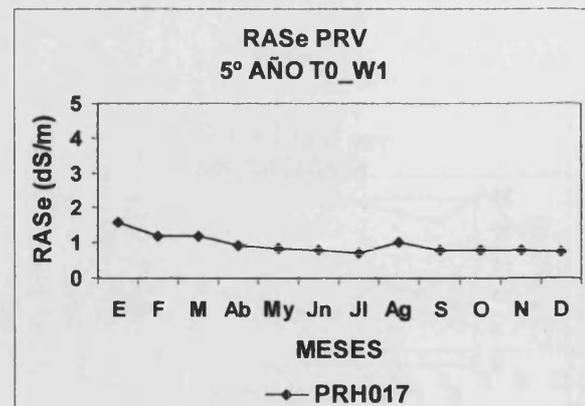


Figura 6.428

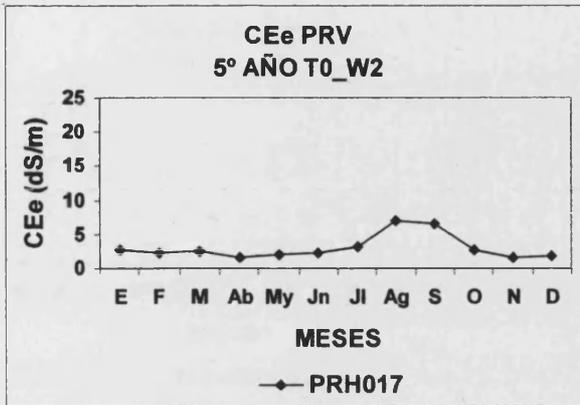


Figura 6.429

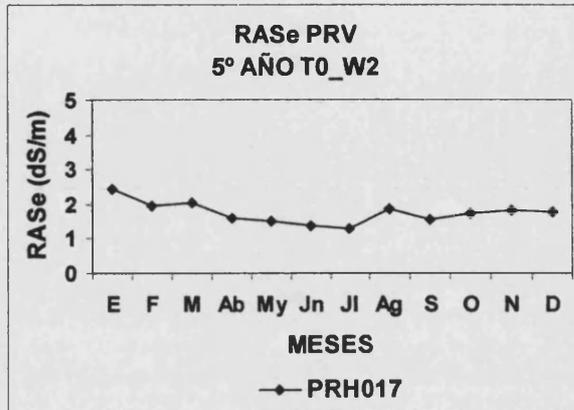


Figura 6.430

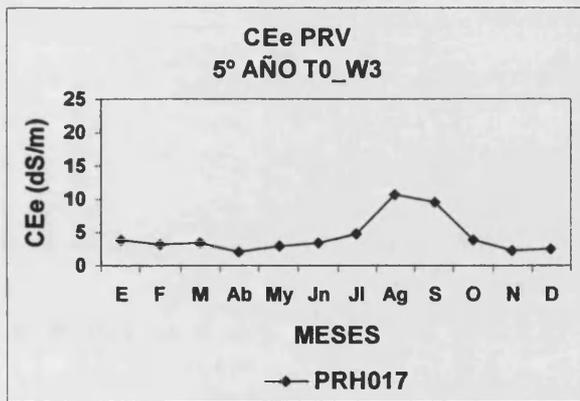


Figura 6.431

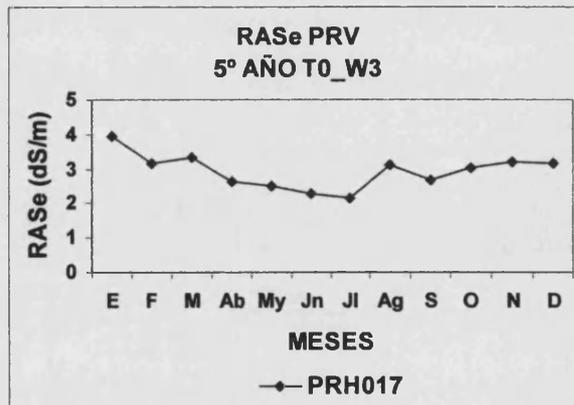


Figura 6.432

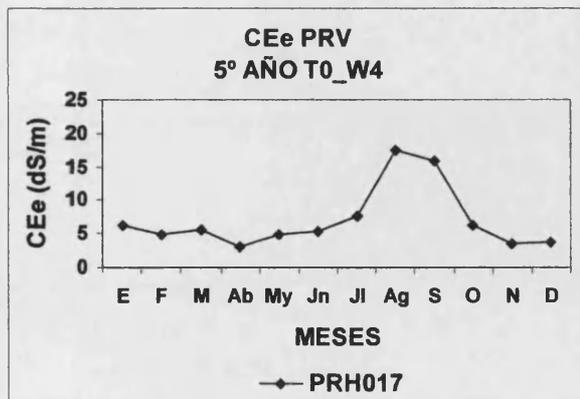


Figura 6.433

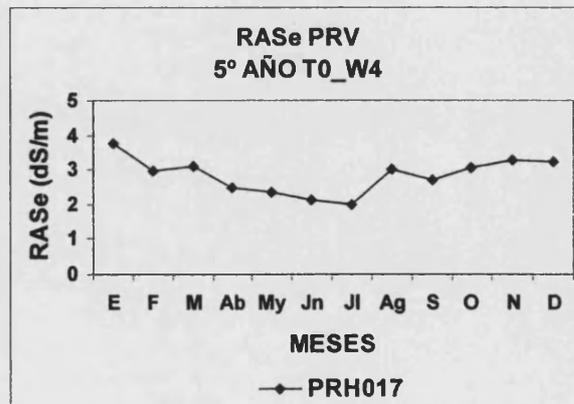


Figura 6.434

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRV RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO R0)

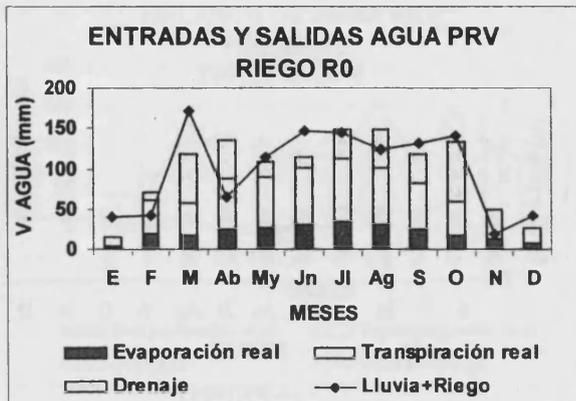


Figura 6.435

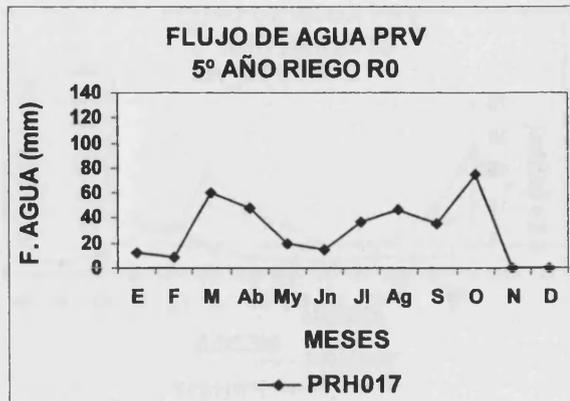


Figura 6.436

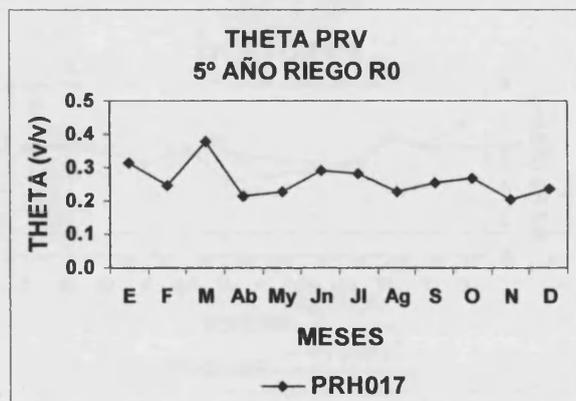


Figura 6.437

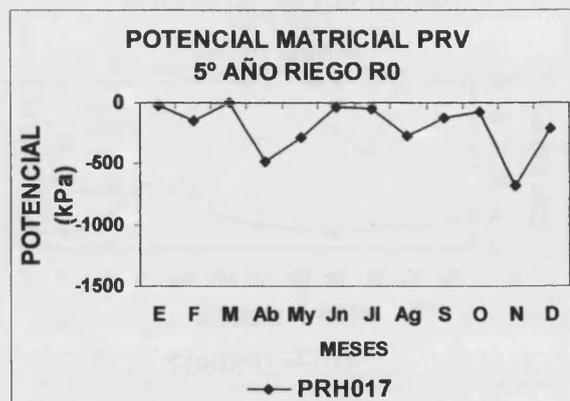


Figura 6.438

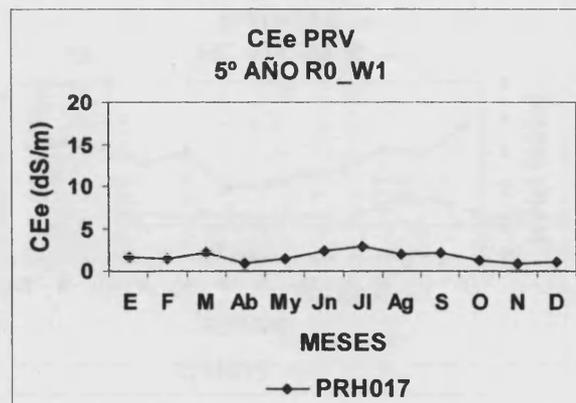


Figura 6.439

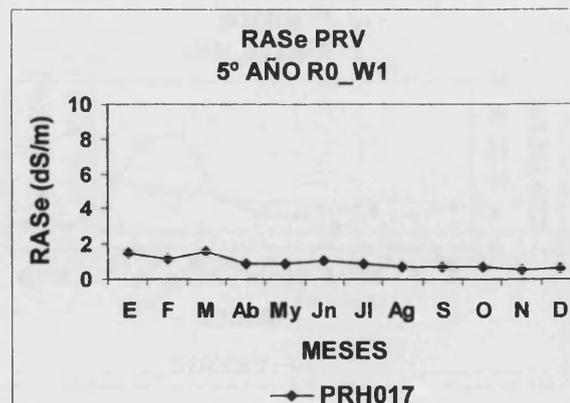


Figura 6.440

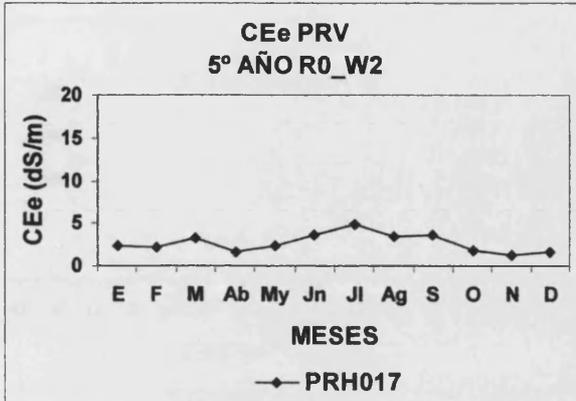


Figura 6.441

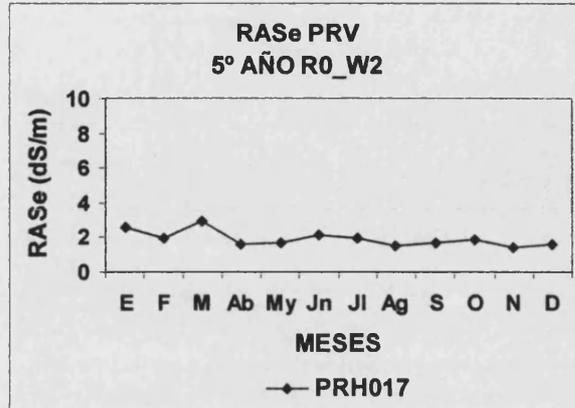


Figura 6.442

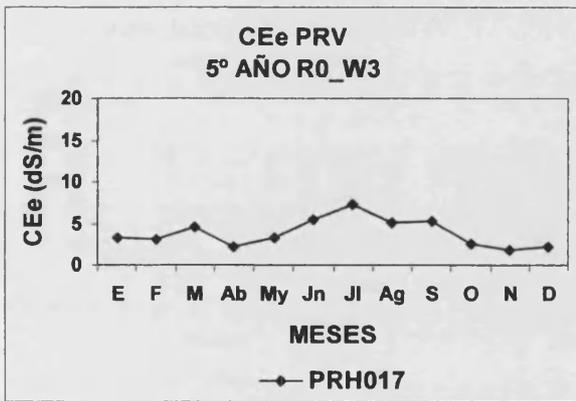


Figura 6.443

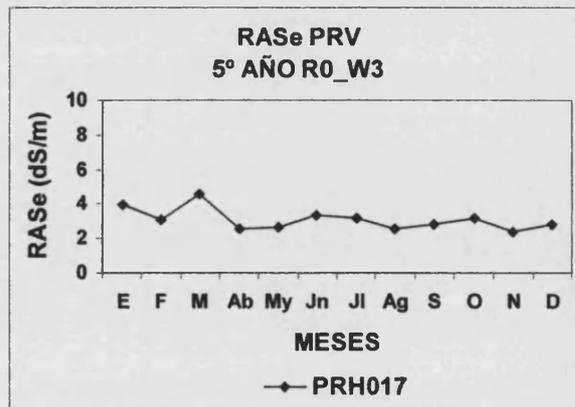


Figura 6.444

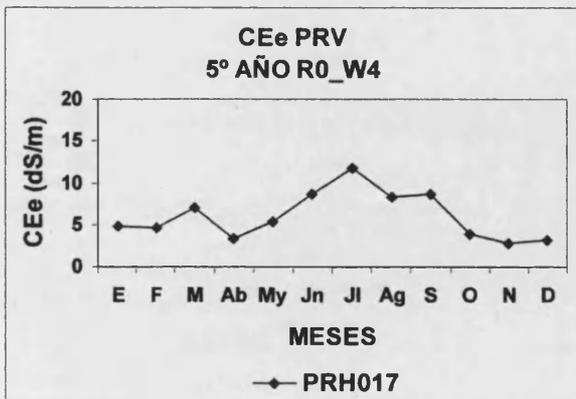


Figura 6.445

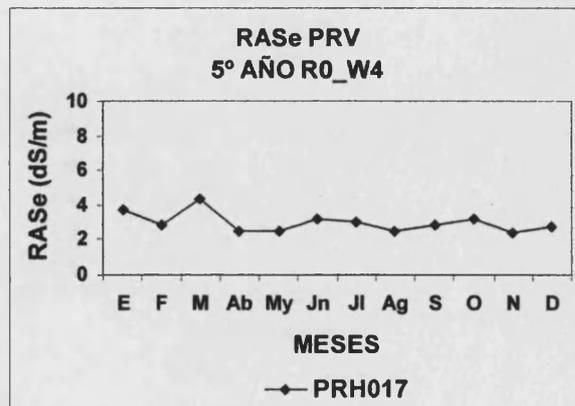


Figura 6.446

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRV RIEGO GOTEO
(DISEÑO RIEGO G0)

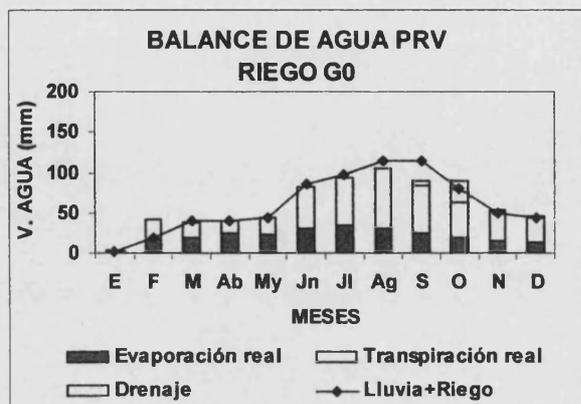


Figura 6.447

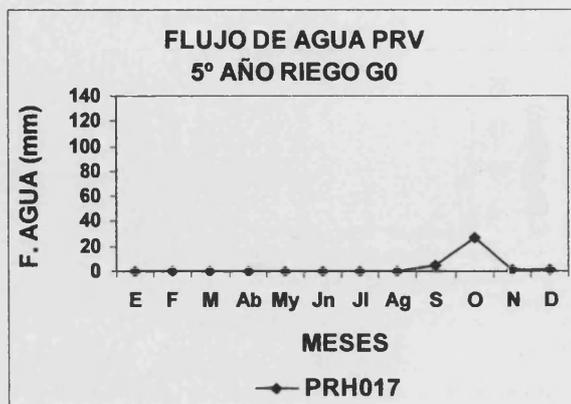


Figura 6.448

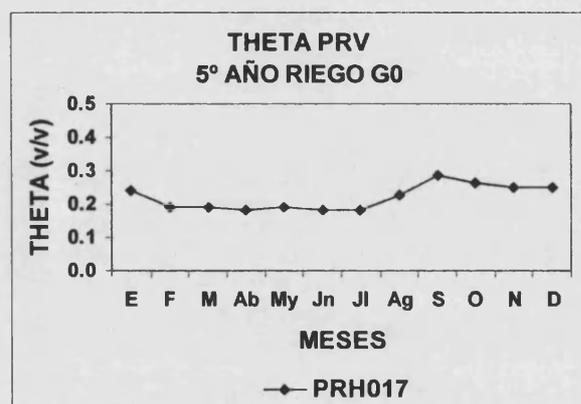


Figura 6.449

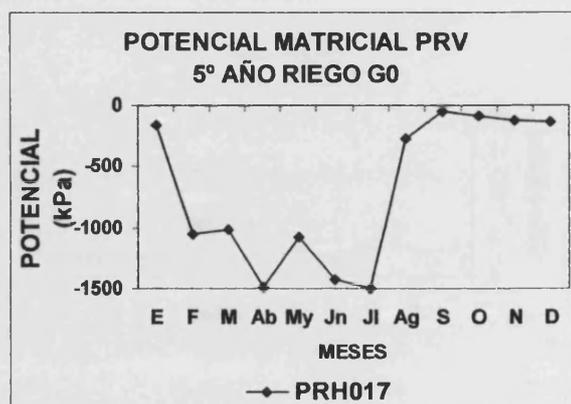


Figura 6.450

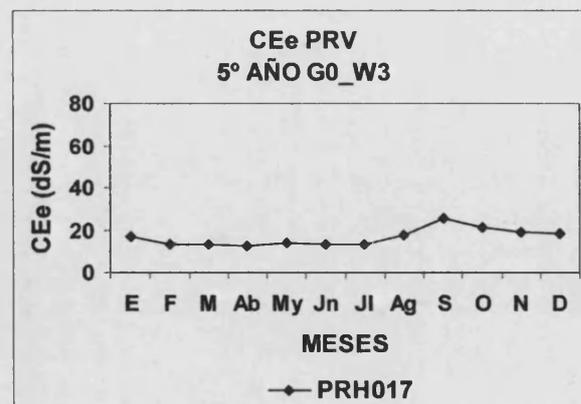


Figura 6.451

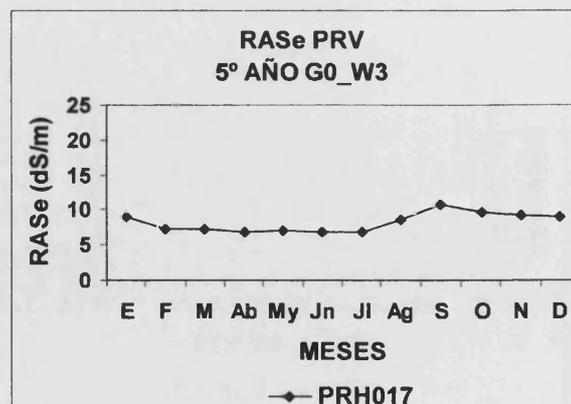


Figura 6.452

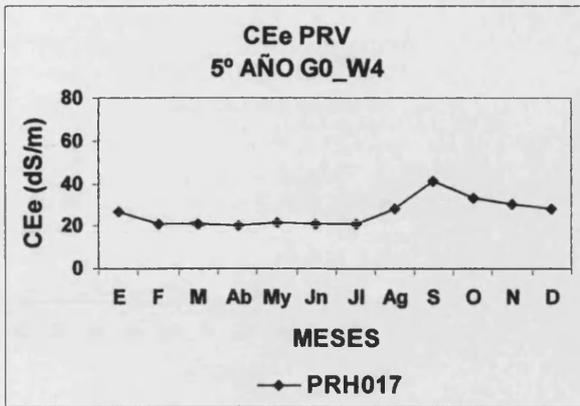


Figura 6.453

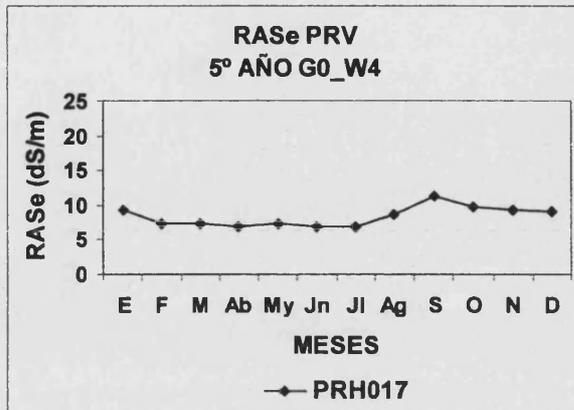


Figura 6.454

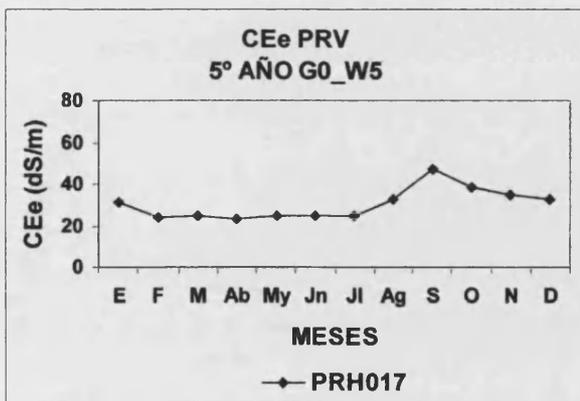


Figura 6.455

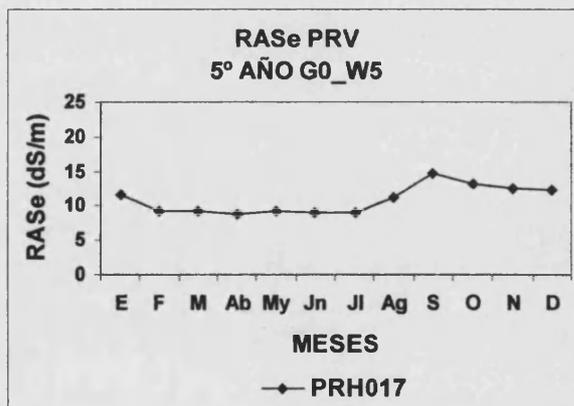


Figura 6.456

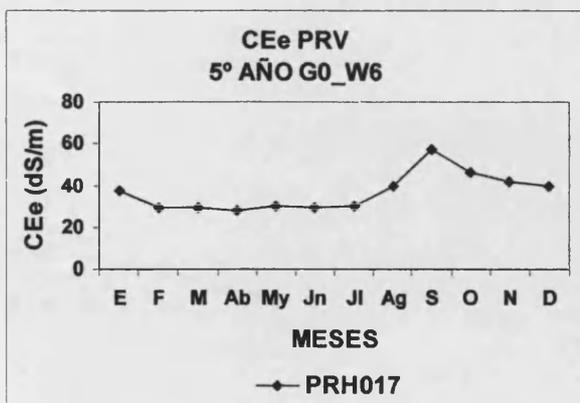


Figura 6.457

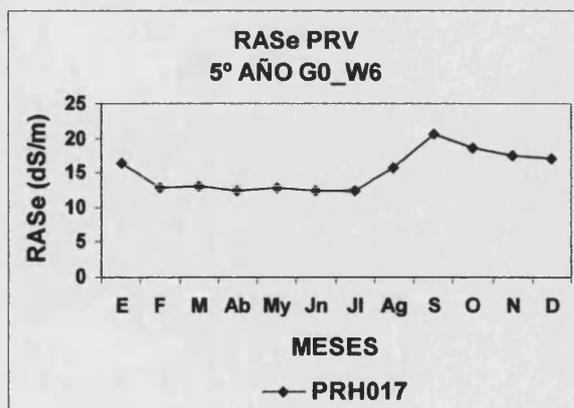


Figura 6.458

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRVI RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO B0)

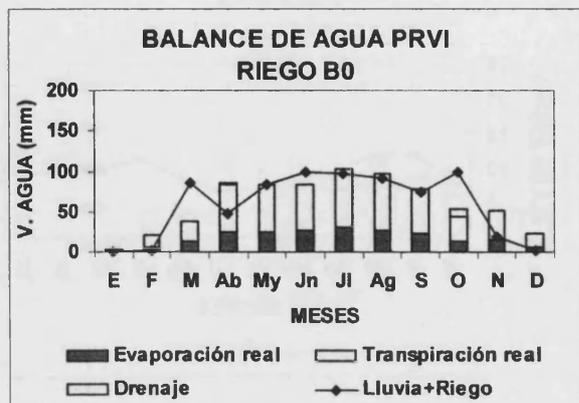


Figura 6.459

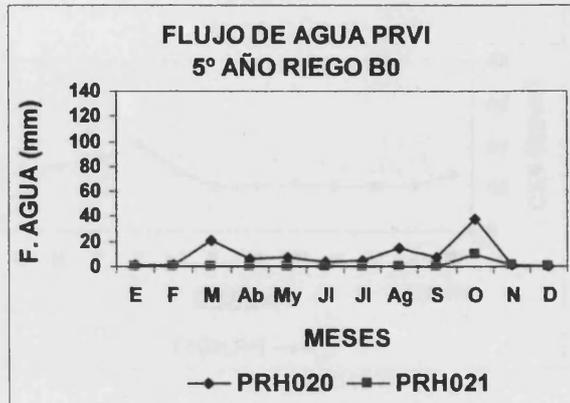


Figura 6.460

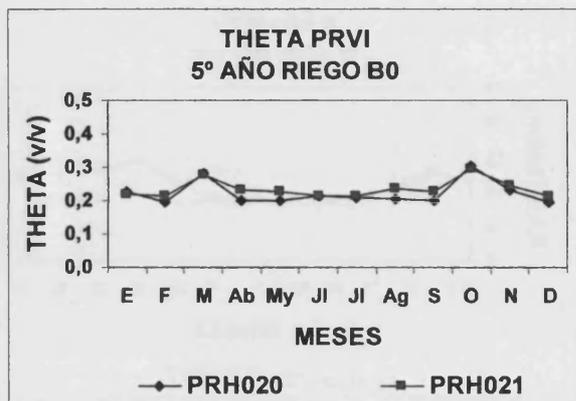


Figura 6.461

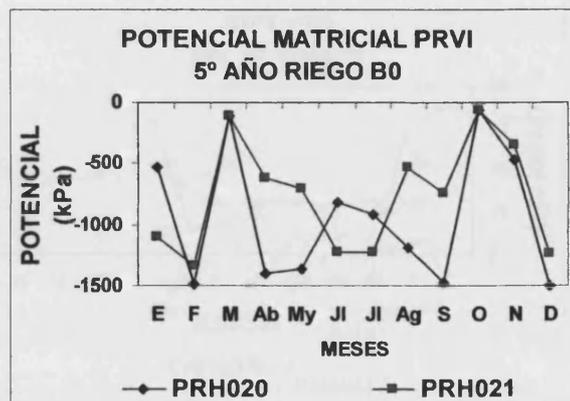


Figura 6.462

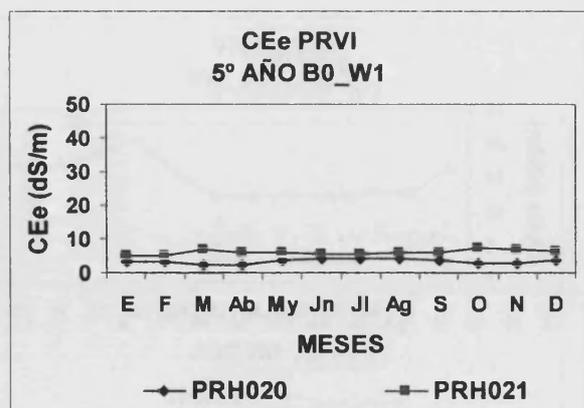


Figura 6.463

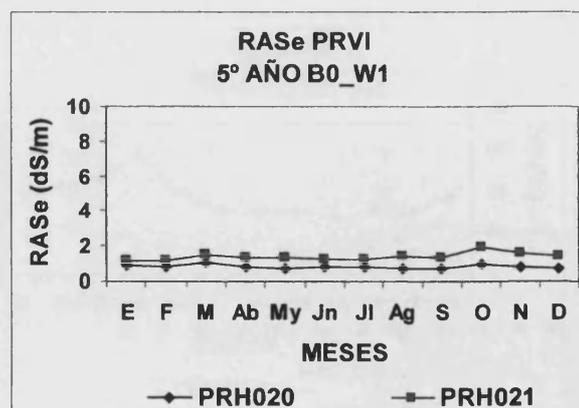


Figura 6.464

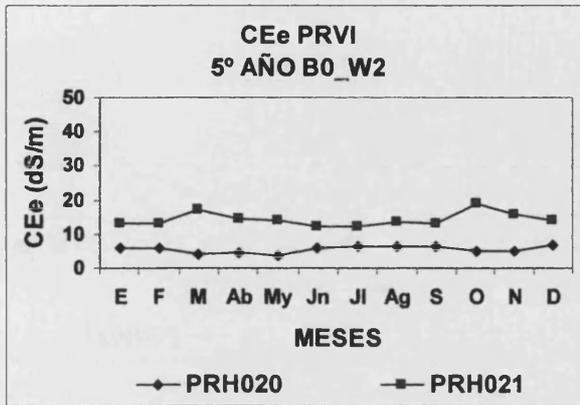


Figura 6.465

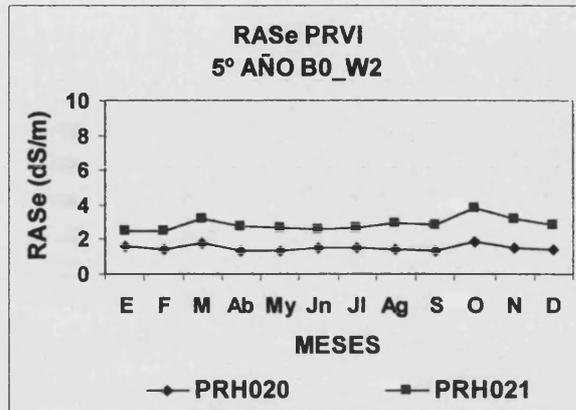


Figura 6.466

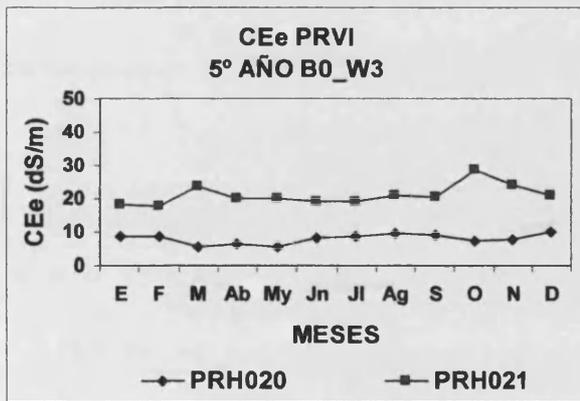


Figura 6.467

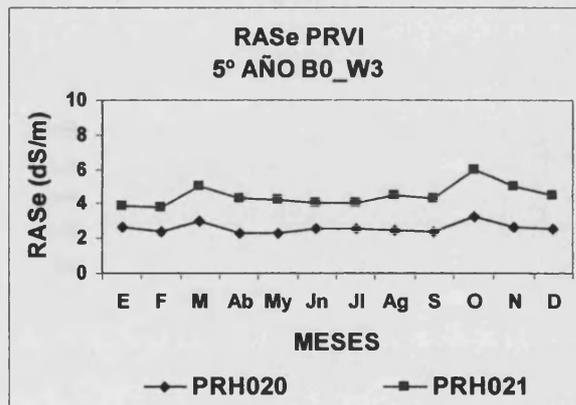


Figura 6.468

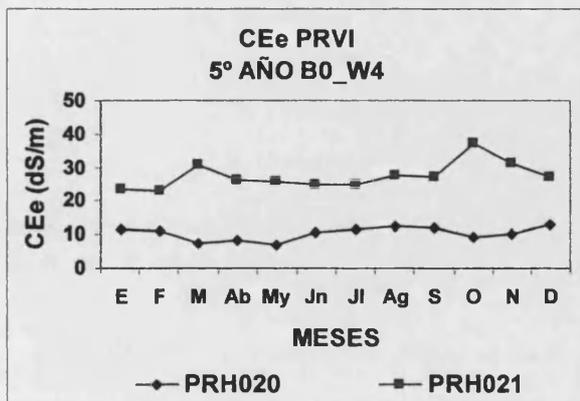


Figura 6.469

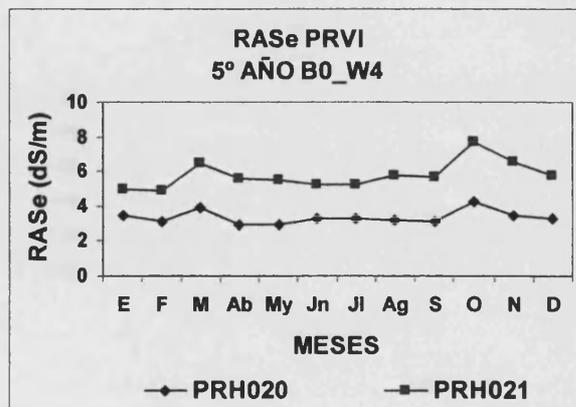


Figura 6.470

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRVI RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO T0)

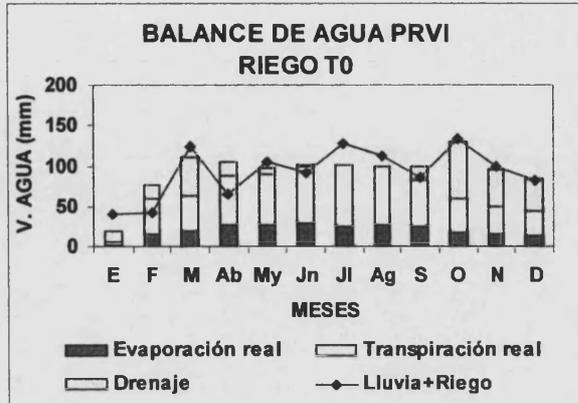


Figura 6.471

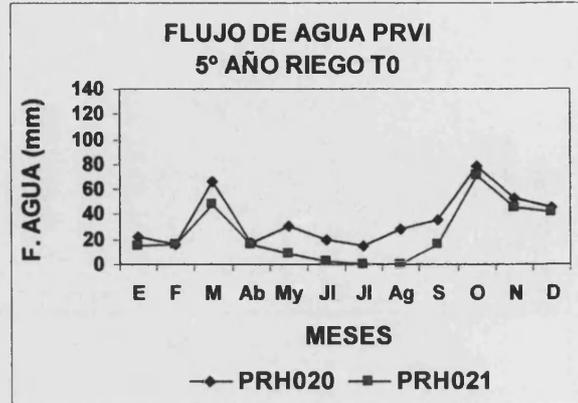


Figura 6.742

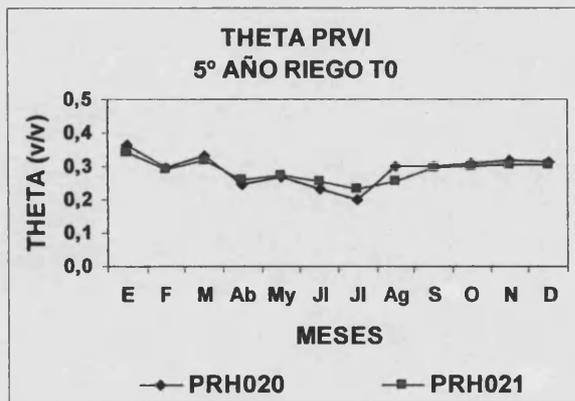


Figura 6.473

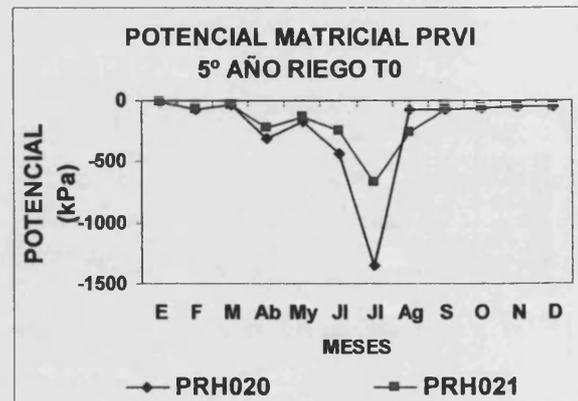


Figura 6.474

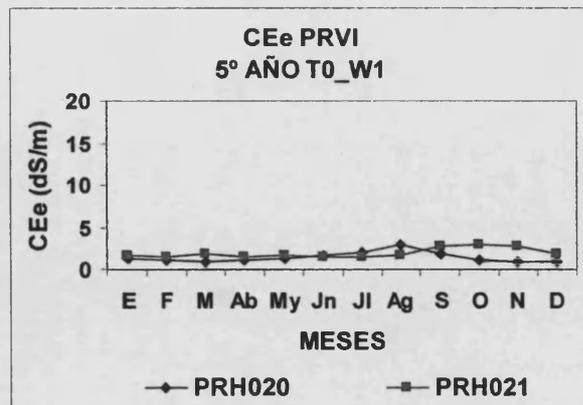


Figura 6.475

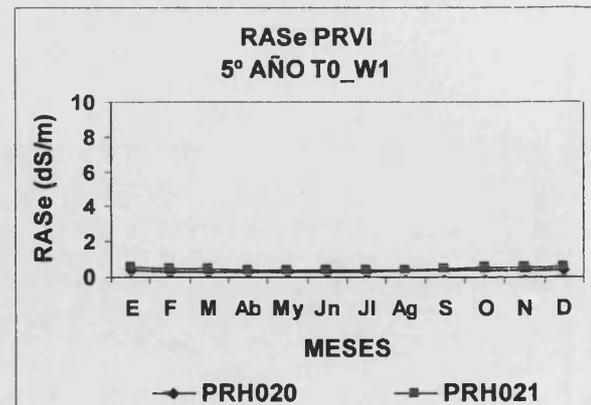


Figura 6.476

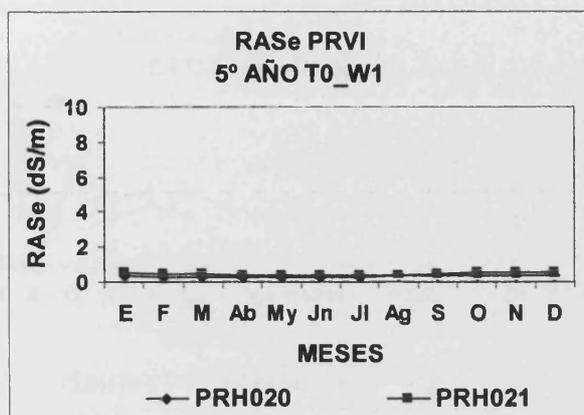


Figura 6.477

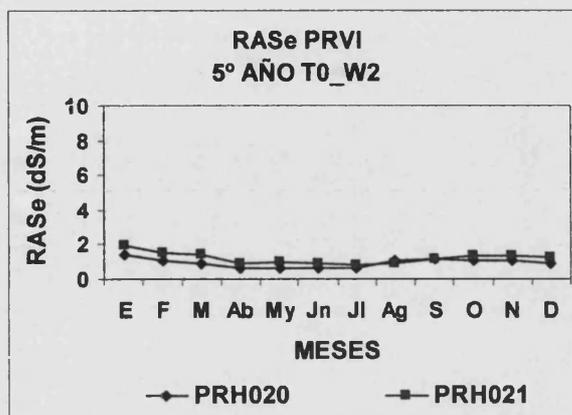


Figura 6.478

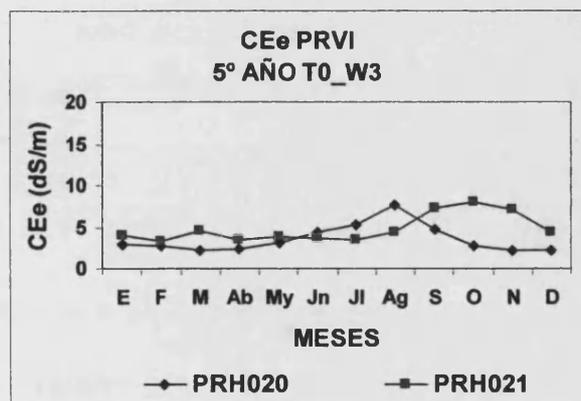


Figura 6.479

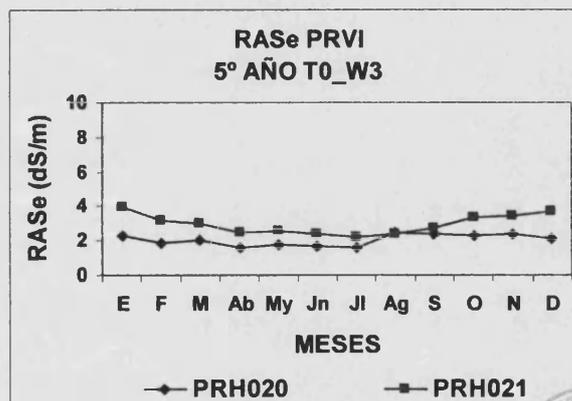


Figura 6.480

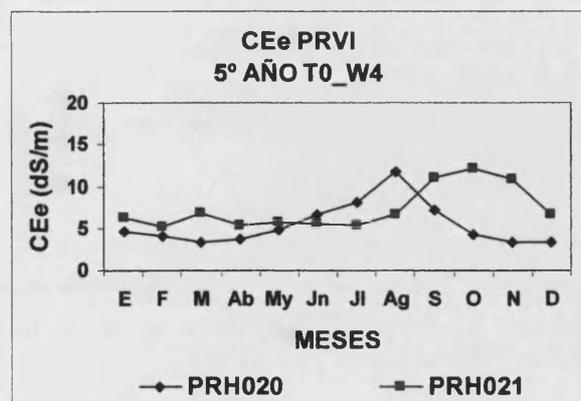


Figura 6.481

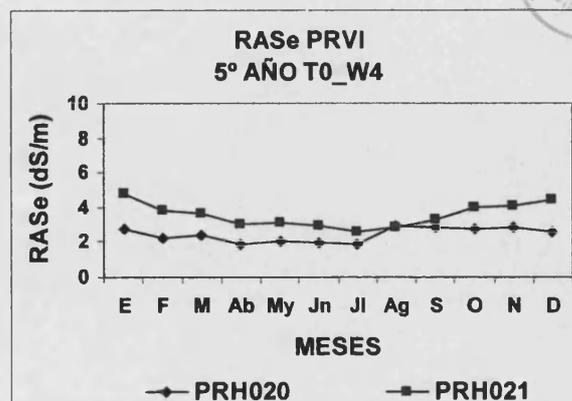


Figura 6.482



6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRVI RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO R0)

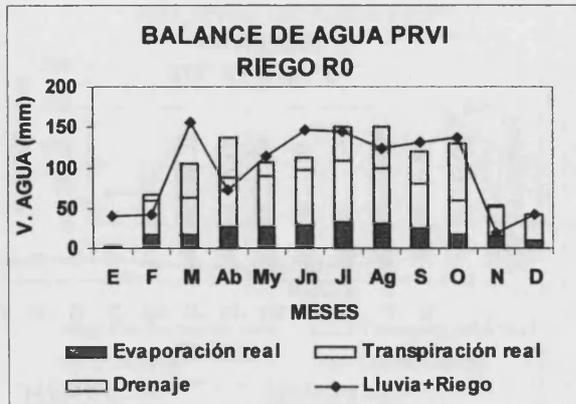


Figura 6.483

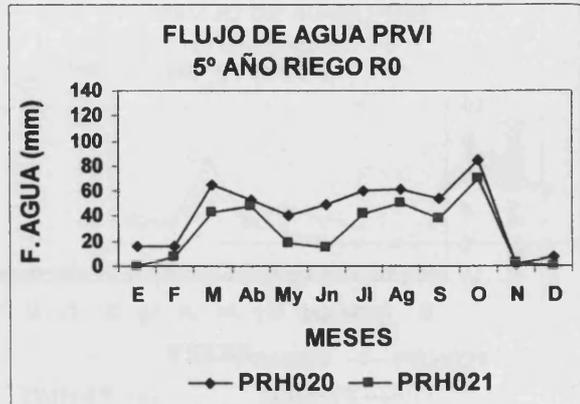


Figura 6.484

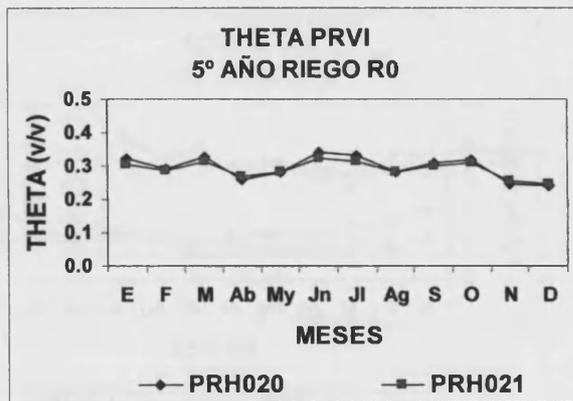


Figura 6.485

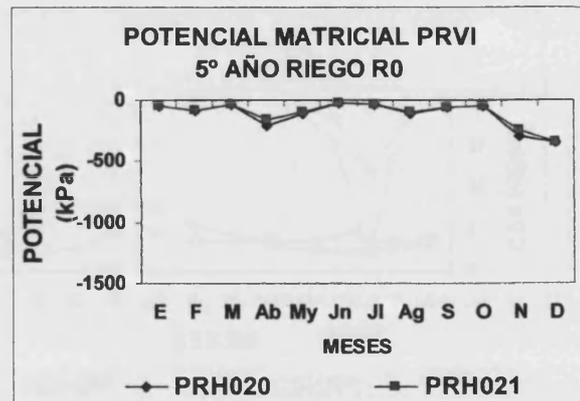


Figura 6.486

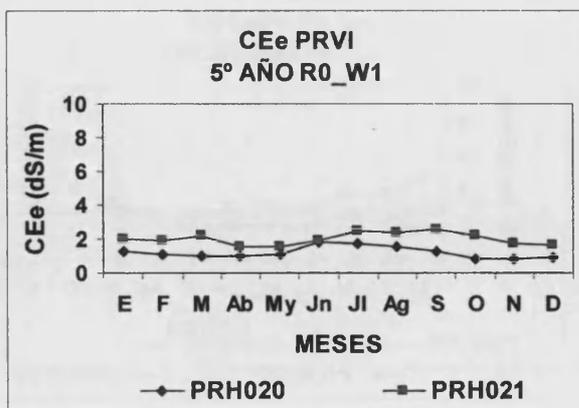


Figura 6.487

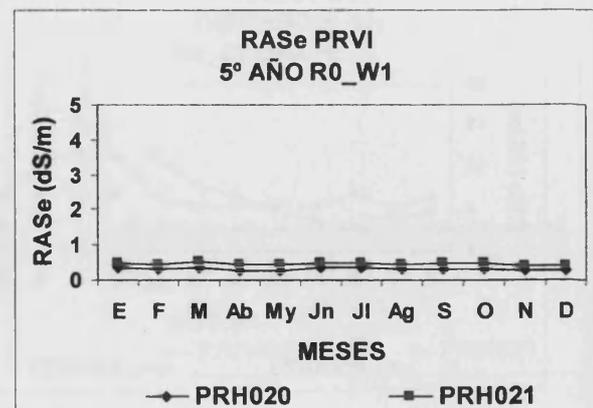


Figura 6.488

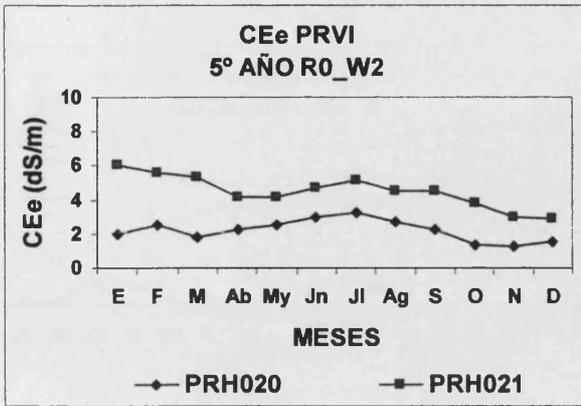


Figura 6.489

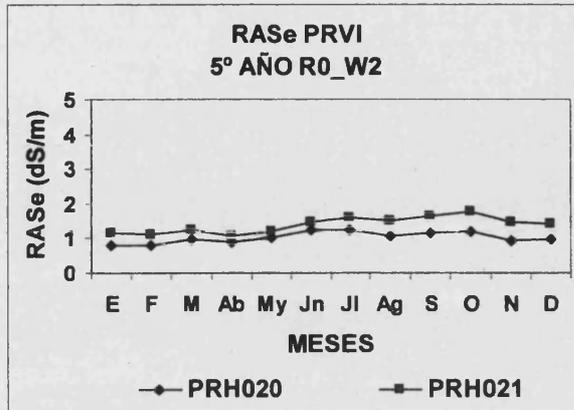


Figura 6.490

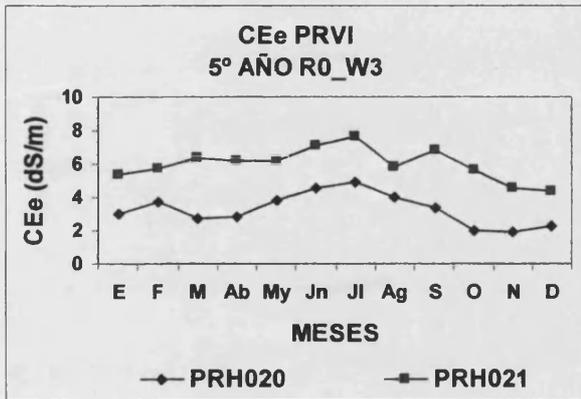


Figura 6.491

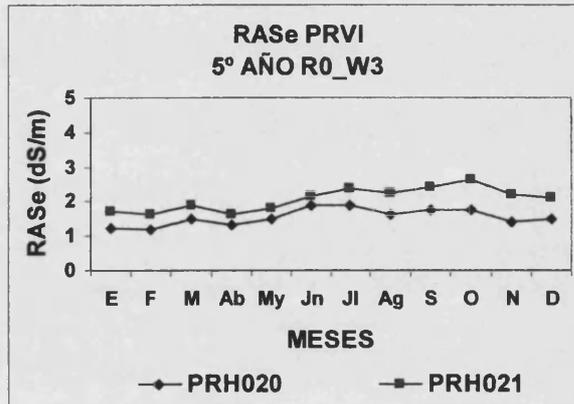


Figura 6.492

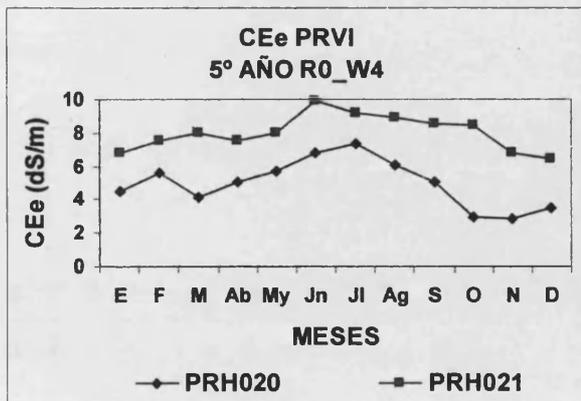


Figura 6.493

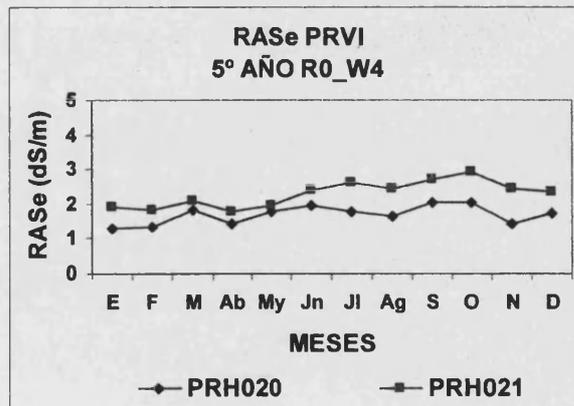


Figura 6.494

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRVI RIEGO GOTEO
(DISEÑO RIEGO G0)

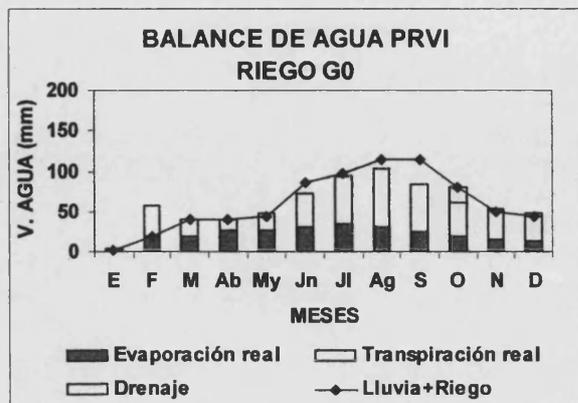


Figura 6.495

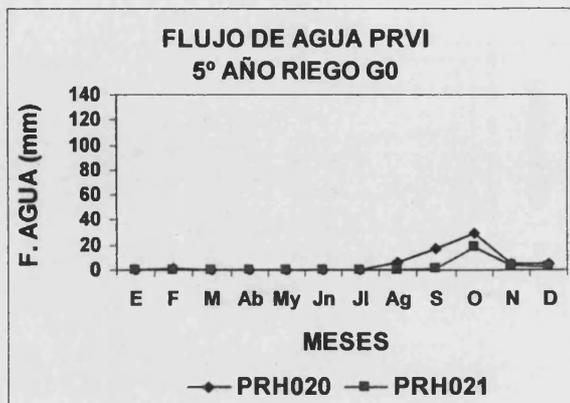


Figura 6.496

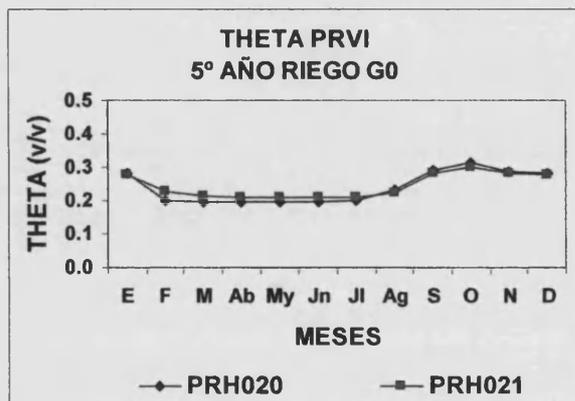


Figura 6.497

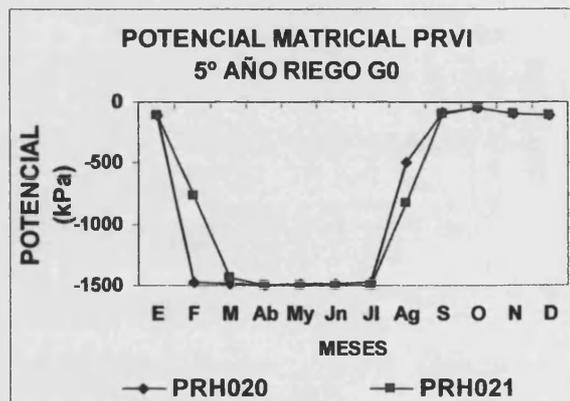


Figura 6.498

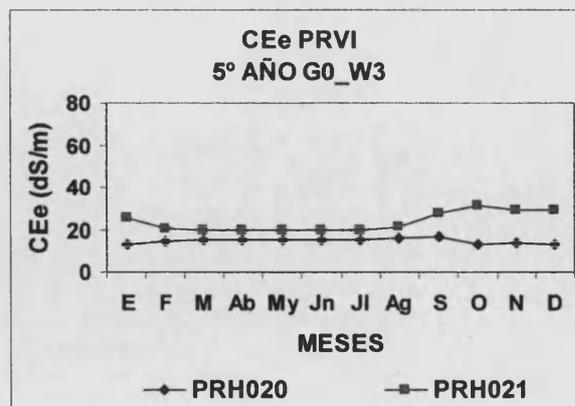


Figura 6.499

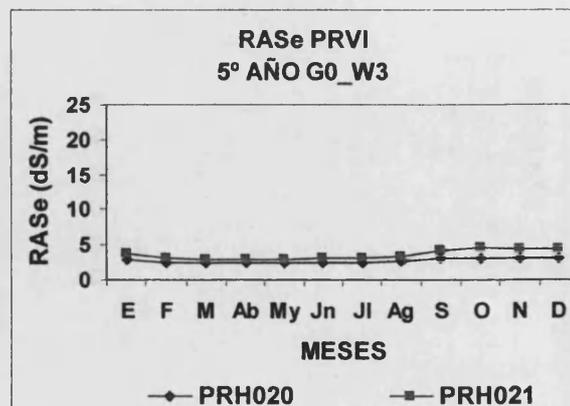


Figura 6.500

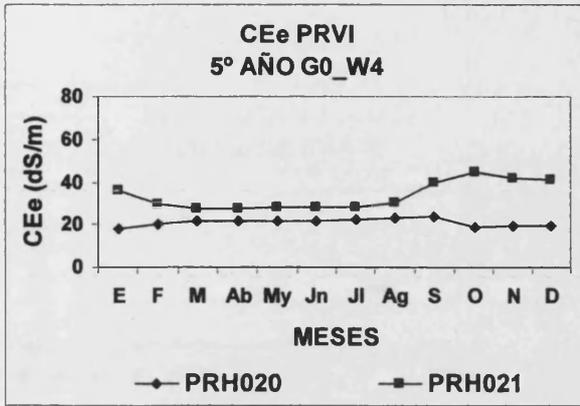


Figura 6.501

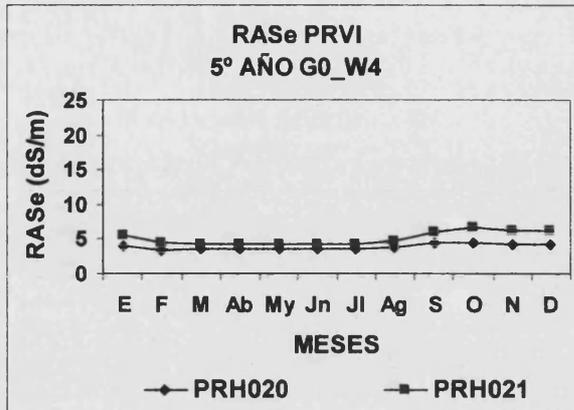


Figura 6.502

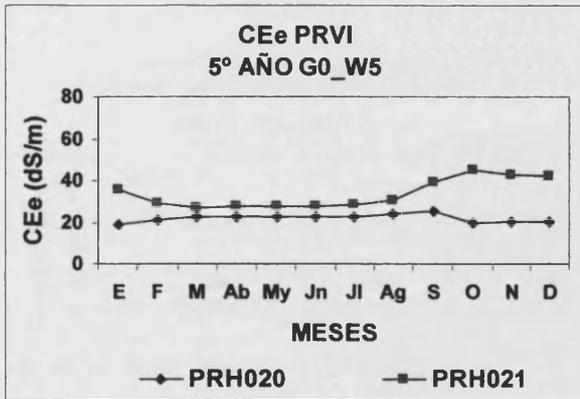


Figura 6.503

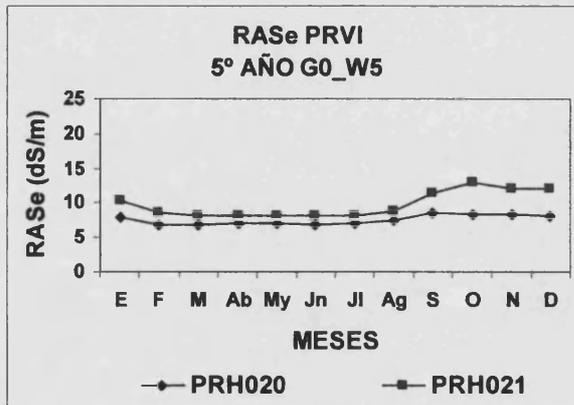


Figura 6.504

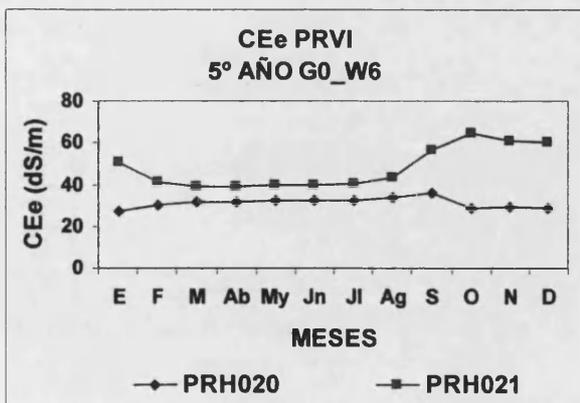


Figura 6.505

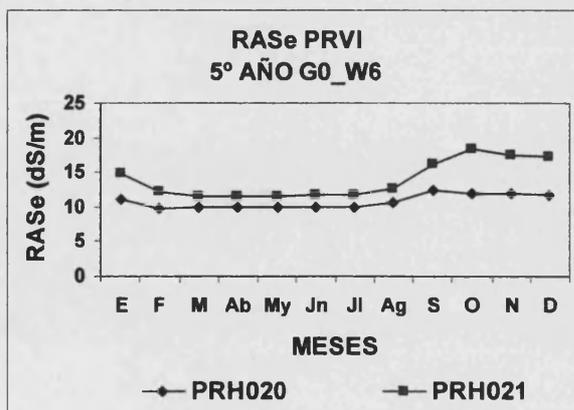


Figura 6.506

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRVII RIEGO CONVENCIONAL (DISEÑO RIEGO B0)

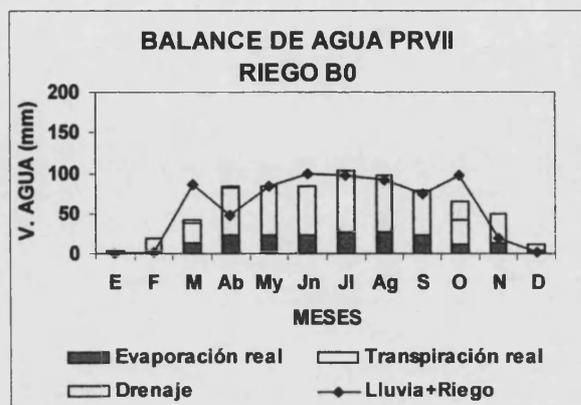


Figura 6.507

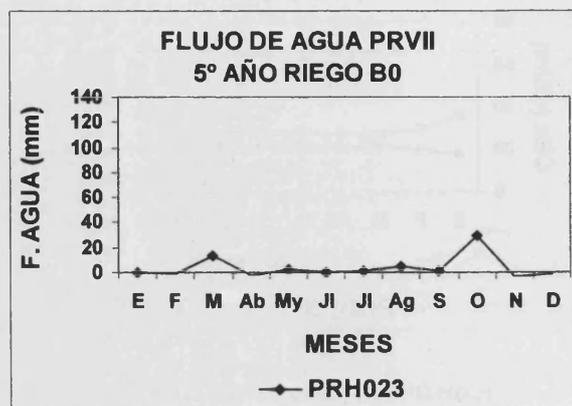


Figura 6.508

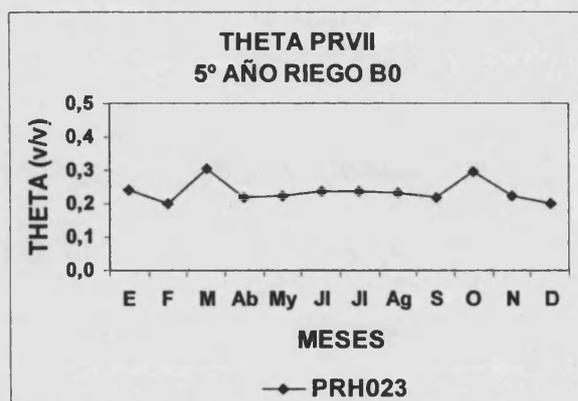


Figura 6.509

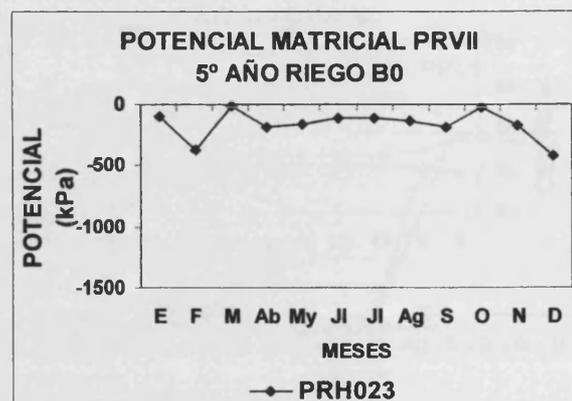


Figura 6.510

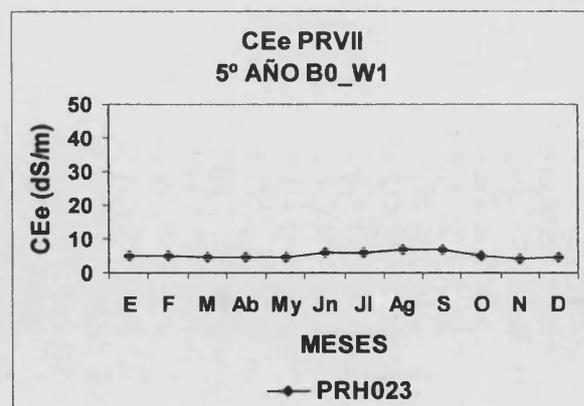


Figura 6.511

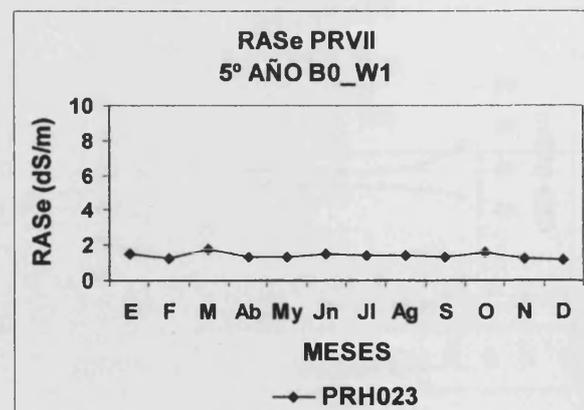


Figura 6.512

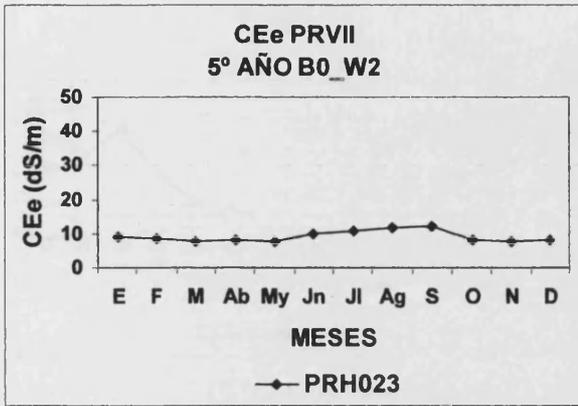


Figura 6.513

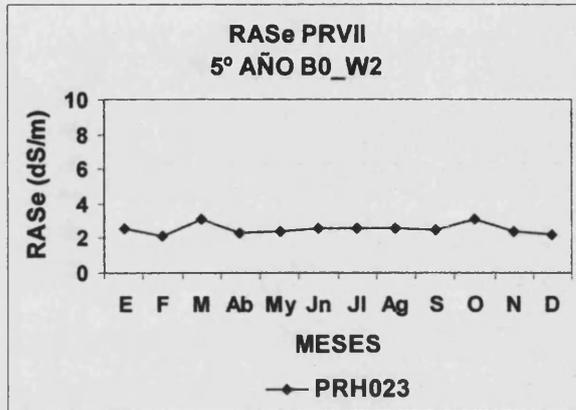


Figura 6.514

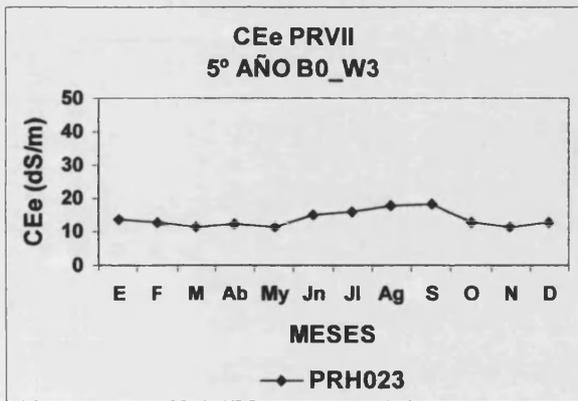


Figura 6.515

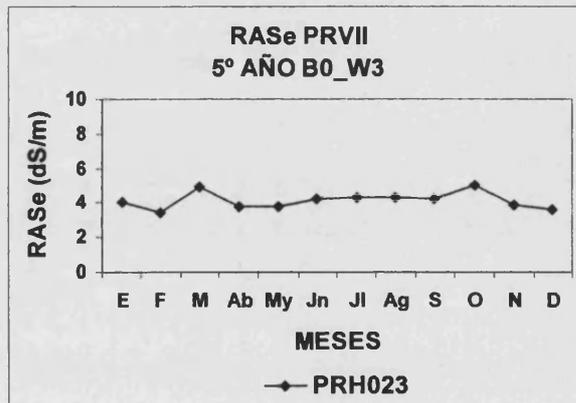


Figura 6.516

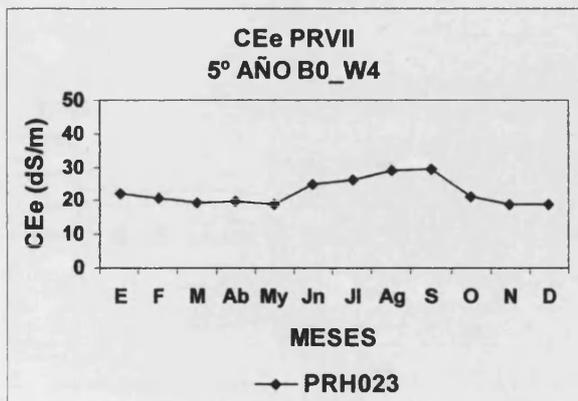


Figura 6.517

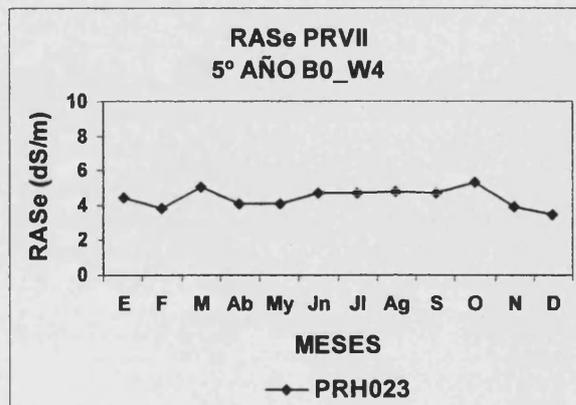


Figura 6.518

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRVII RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO T0)

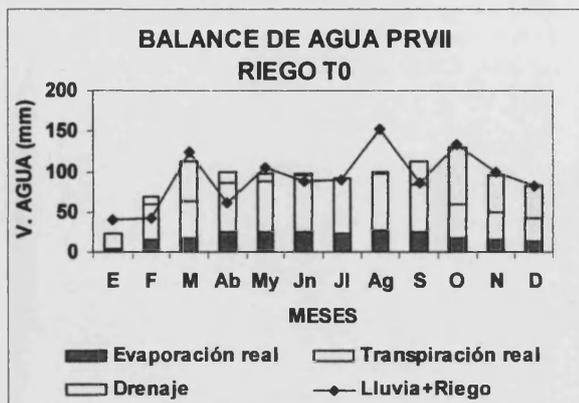


Figura 6.519

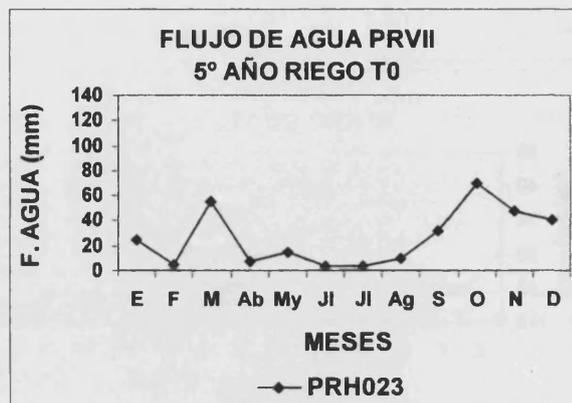


Figura 6.520

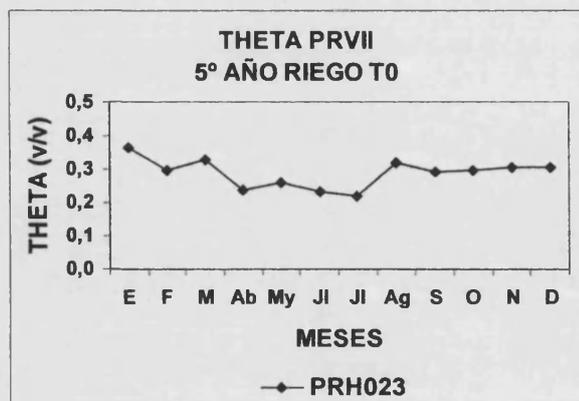


Figura 6.521

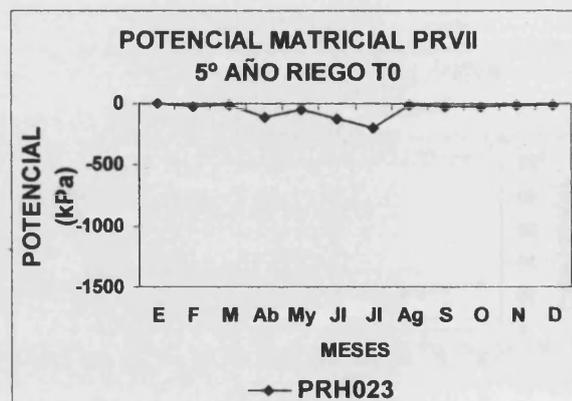


Figura 6.522

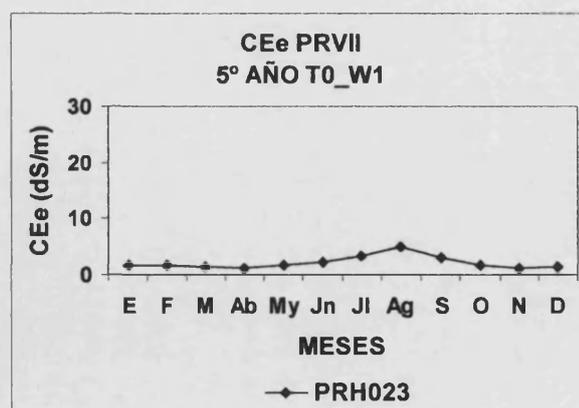


Figura 6.523

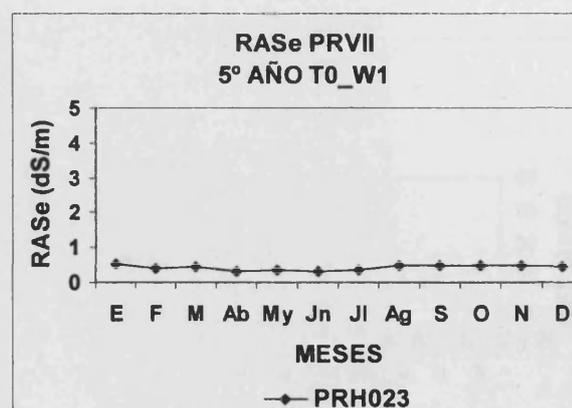


Figura 6.524

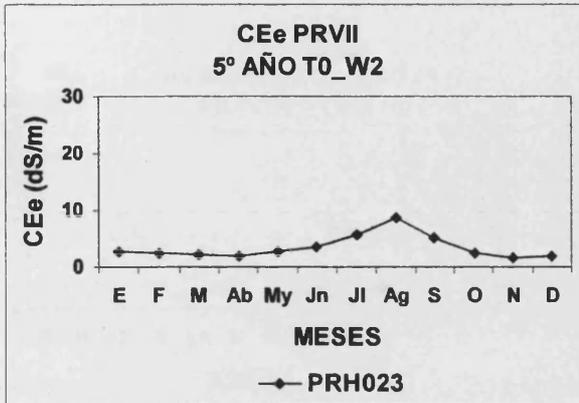


Figura 6.525

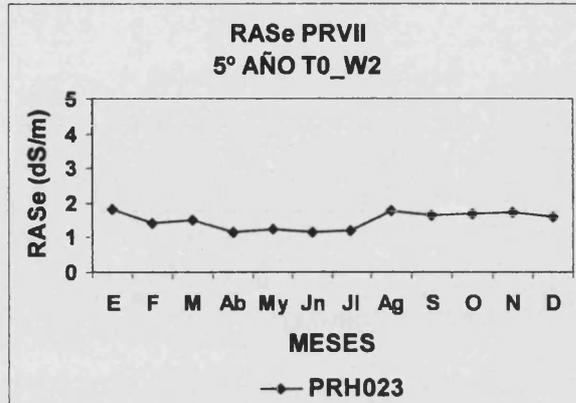


Figura 6.526

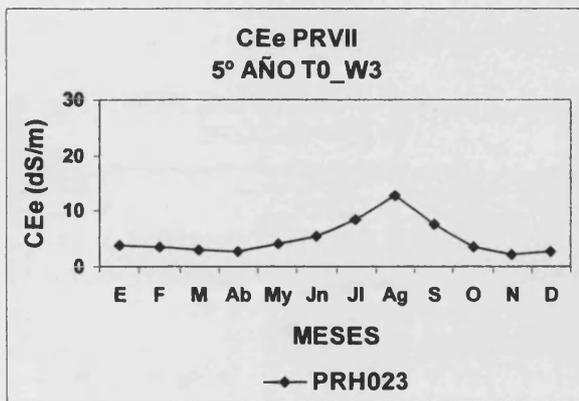


Figura 6.527

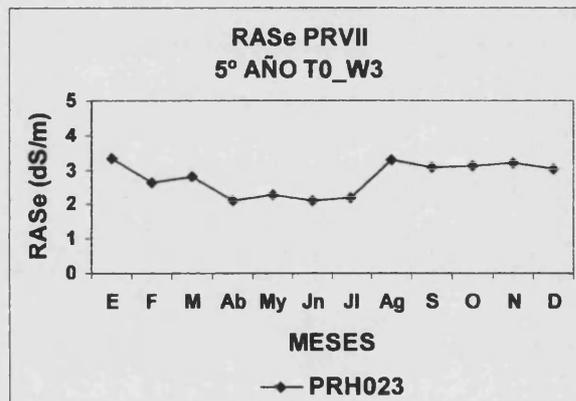


Figura 6.528

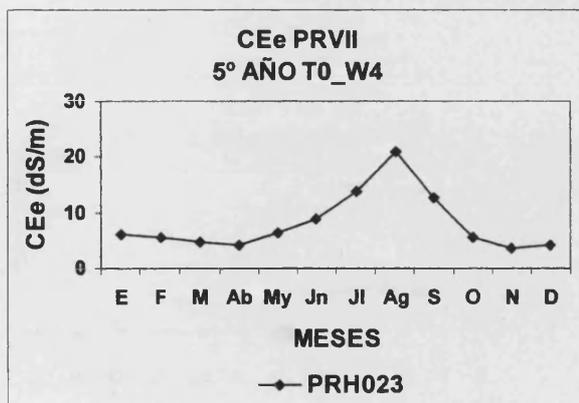


Figura 6.529

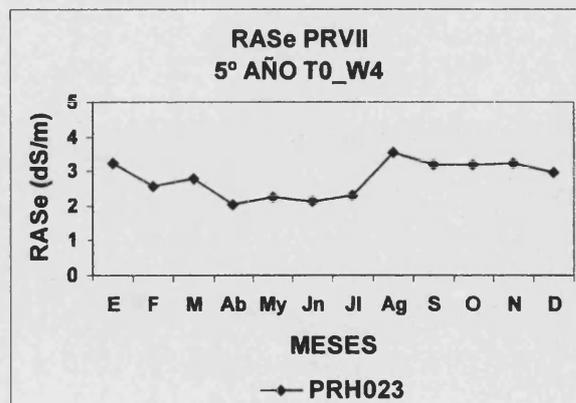


Figura 6.530

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRVII RIEGO CONVENCIONAL
(DISEÑO RIEGO R0)

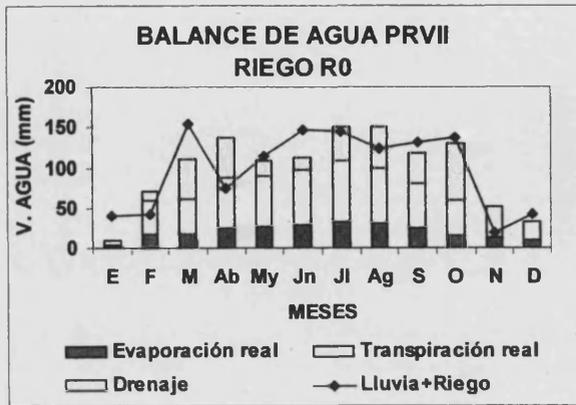


Figura 6.531

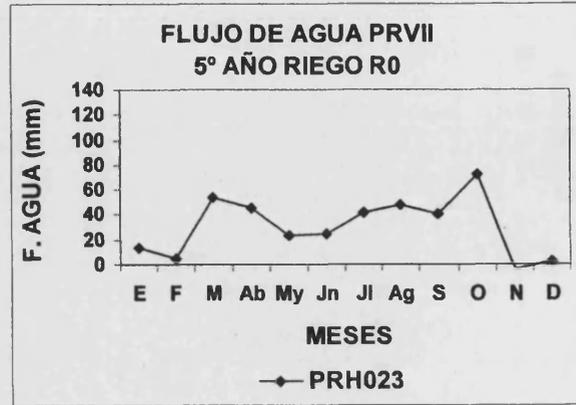


Figura 6.532

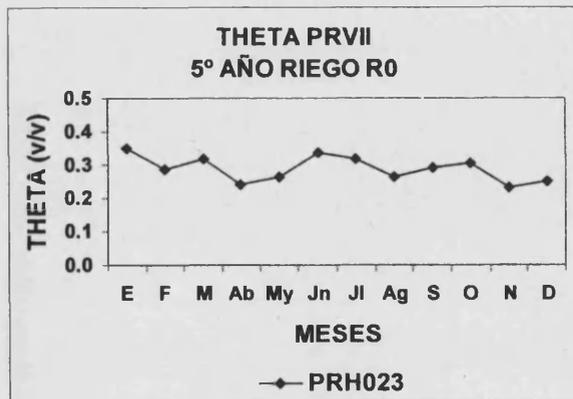


Figura 6.533

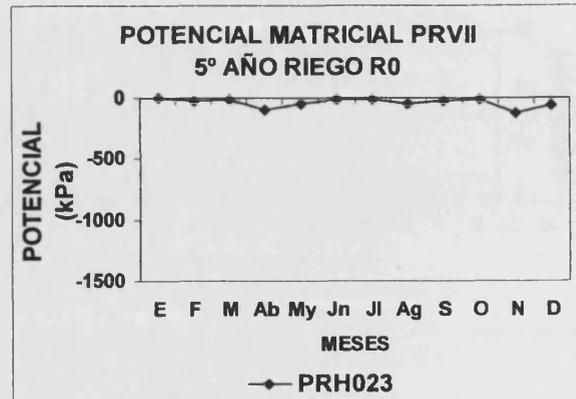


Figura 6.534

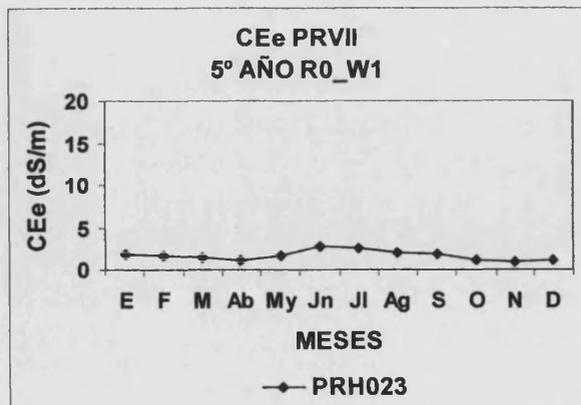


Figura 6.535

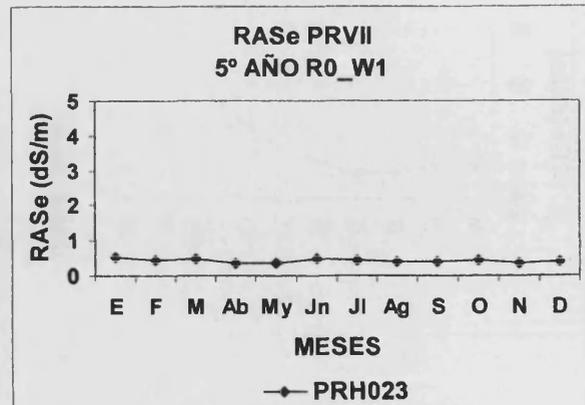


Figura 6.536

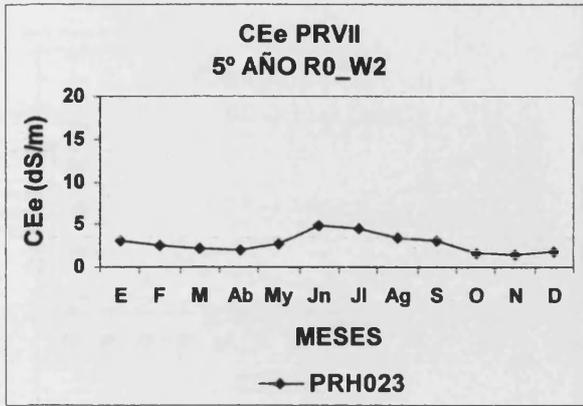


Figura 6.537

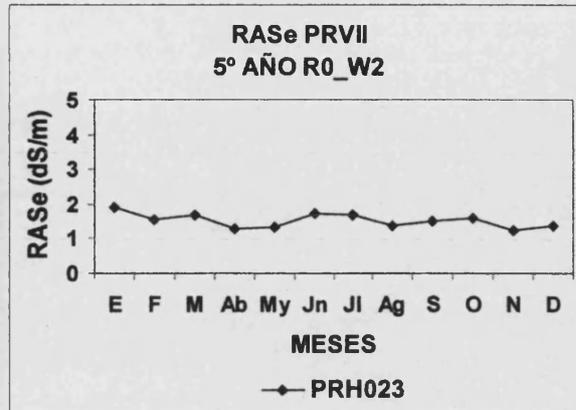


Figura 6.538

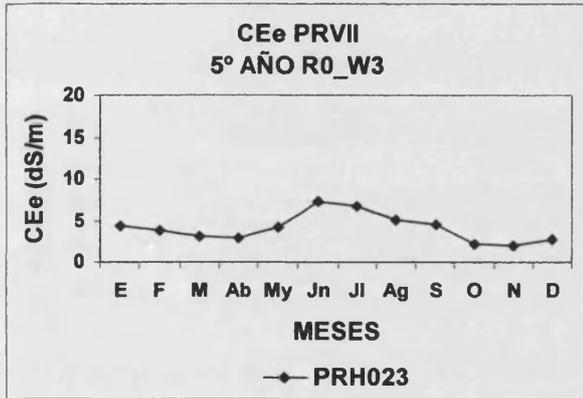


Figura 6.539

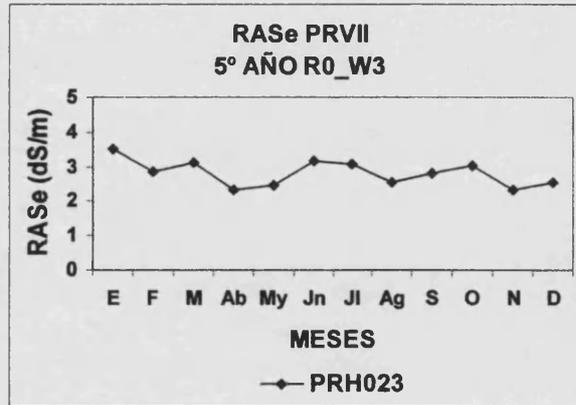


Figura 6.540

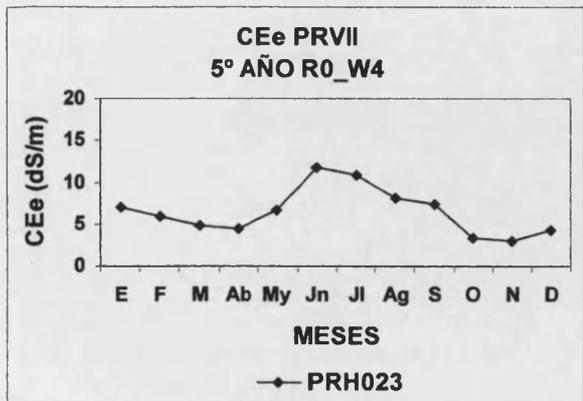


Figura 6.541

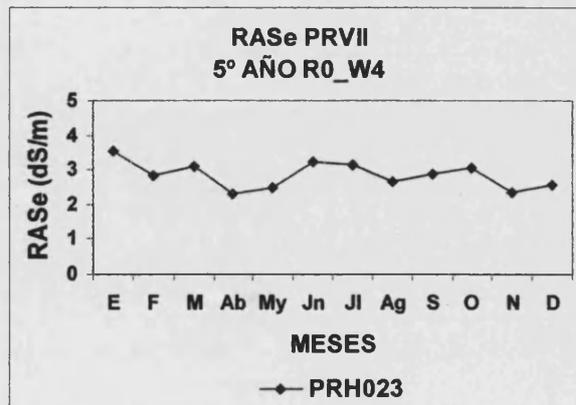


Figura 6.542

PREDICCIONES A 5 AÑOS PERFIL PRVII RIEGO GOTEO
(DISEÑO RIEGO G0)

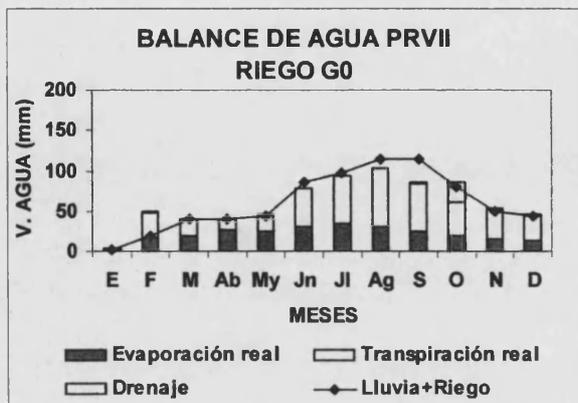


Figura 6.543

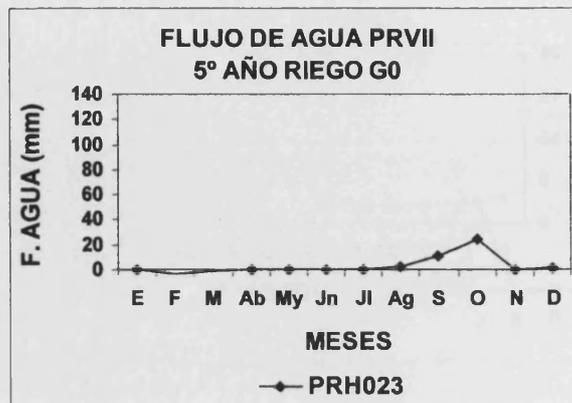


Figura 6.544

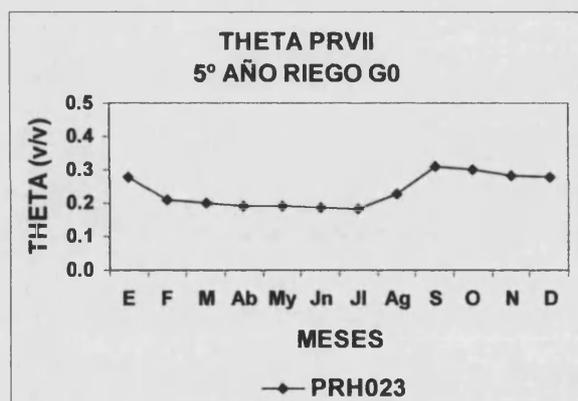


Figura 6.545

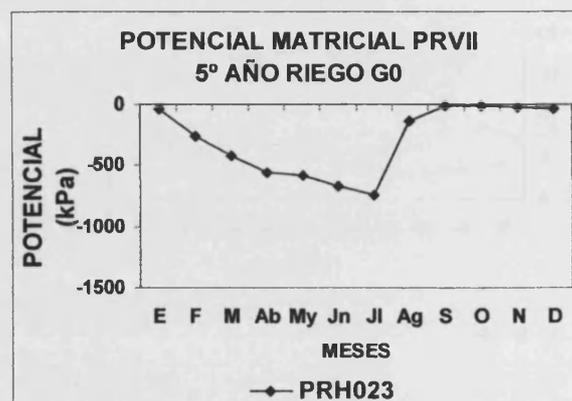


Figura 6.546

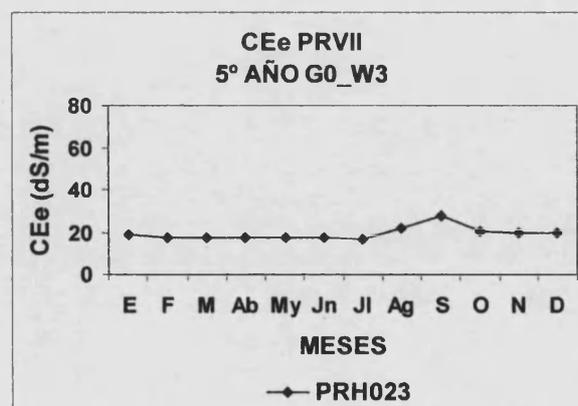


Figura 6.547

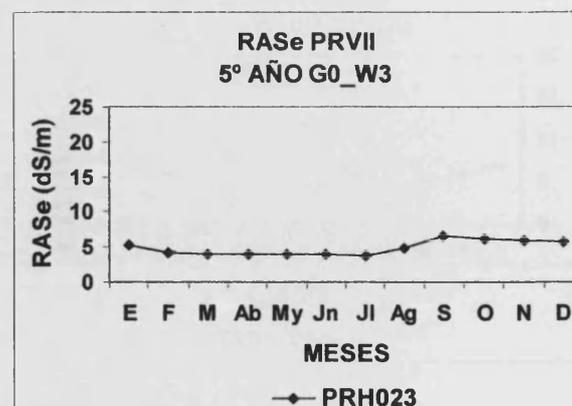


Figura 6.548

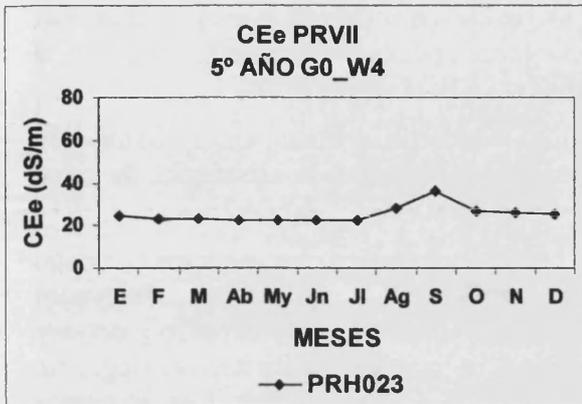


Figura 6.549

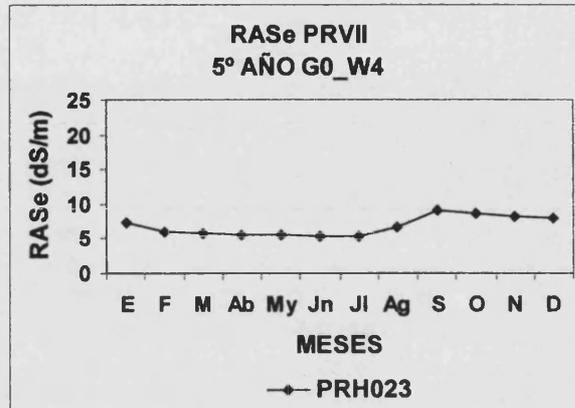


Figura 6.550

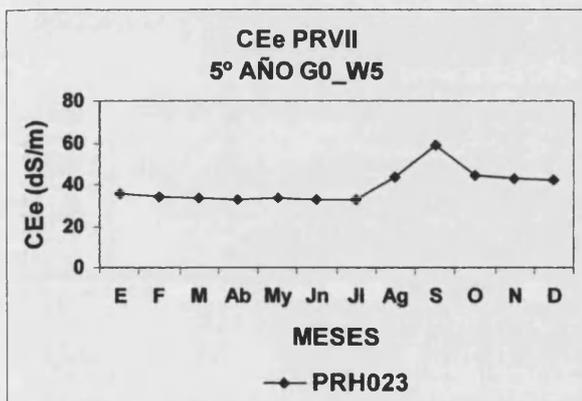


Figura 6.551

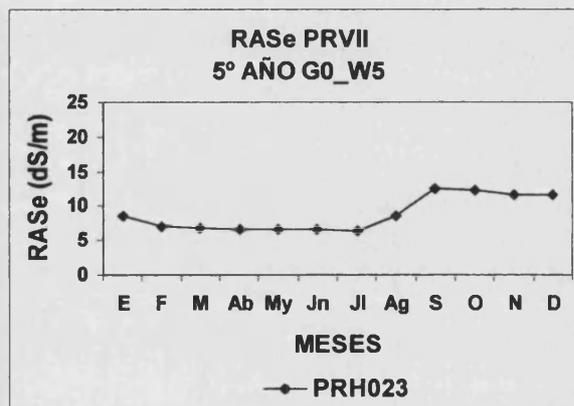


Figura 6.552

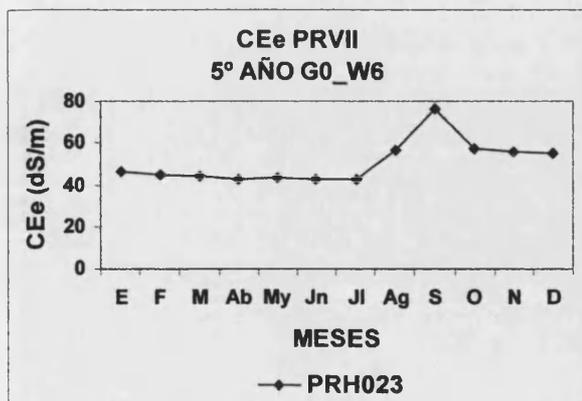


Figura 6.553

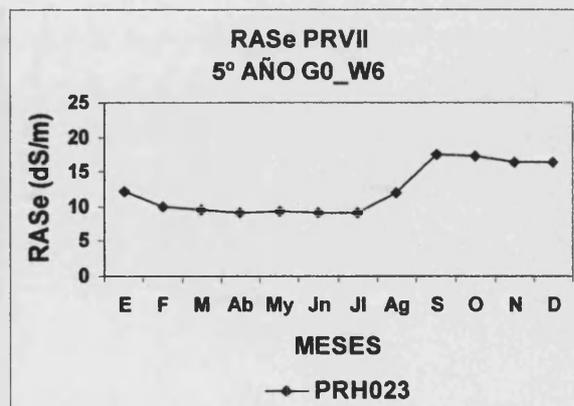


Figura 6.554

6. Resultados y discusión

Discusión sobre las estrategias de riego analizadas

Se observa una estimación de las necesidades hídricas del cultivo por parte del LEACHM superior a que la que estima el modelo CROPWAT. Ello es debido a que el programa CROPWAT no tiene en cuenta las propiedades físicas de los suelos ni la evaporación. Por otra parte se observa que el modelo LEACHM estima aproximadamente la mitad de la fracción de drenaje respecto a la estimación del modelo CROPWAT.

Sin embargo el procedimiento descrito en el análisis de escenarios ofrece una aproximación en tendencia que pueden servir de referencia para la elaboración de estrategias de riego óptimas con el modelo LEACHM.

El diseño óptimo de riego obtenido con el LEACHM (R0) se basa en los esquemas de riego A1 y B1 obtenidos con el CROPWAT. Estos esquemas de riego presentan elevados potenciales matriciales durante los periodos comprendidos entre febrero a marzo y octubre a diciembre. En estos periodos el modelo CROPWAT no considera necesario el riego, sin embargo el suelo se seca en exceso y provoca flujos de ascenso capilar. Los esquemas diseñados, para cada tipo de textura, incorporan varios riegos de 40 mm durante estos periodos eliminando los picos de potencial matricial.

En las tablas 6.47-6.53 se muestra la comparación entre el volumen de riego y la fracción de drenaje de los diseños de riego evaluados con el LEACHM para cada perfil.

Tabla 6.47. Volumen de riego y fracción de drenaje para cada diseño de riego (PRI)

DISEÑO	RIEGO efectivo (mm)	LLUVIA (mm)	ESCORR. (mm)	EVAP. REAL (mm)	TRANS. REAL (mm)	ETc (mm)	DRENAJE (mm)	F. D.
A0	308.5	400	1.2	187.6	534.3	721.9	8.8	0.01
T0	751.4	400	47.8	247.8	613.8	861.6	297	0.26
R0	748.3	400	1.4	256.3	608.3	864.6	287.8	0.25
G0	327.2	400	187.8	260.3	448	708.3	15.9	0.02

Tabla 6.48. Volumen de riego y fracción de drenaje para cada diseño de riego (PRII)

DISEÑO	RIEGO efectivo (mm)	LLUVIA (mm)	ESCORR. (mm)	EVAP. REAL (mm)	TRANS. REAL (mm)	ETc (mm)	DRENAJE (mm)	F. D.
A0	308.5	400	1.2	212.6	514.7	727.3	0.1	0.00
T0	741.1	400	58.1	259.7	605.3	865.0	286.2	0.25
R0	744.1	400	5.6	258.2	602	860.2	288	0.25
G0	327.2	400	187.8	259.1	466	725.1	0.7	0.02

6. Resultados y discusión

Tabla 6.49. Volumen de riego y fracción de drenaje para cada diseño de riego (PRIII)

DISEÑO	RIEGO efectivo (mm)	LLUVIA (mm)	ESCORR. (mm)	EVAP. REAL (mm)	TRANS. REAL (mm)	ETc (mm)	DRENAJE (mm)	F. D.
A0	308.5	400	1.2	203.6	523.1	726.7	0.2	0.00
T0	743.8	400	55.4	260.8	605.5	866.3	286.8	0.25
R0	747.2	400	2.5	258.9	601.7	860.6	290.3	0.25
G0	327.2	400	187.8	259.8	465.3	725.1	0.7	0.00

Tabla 6.50. Volumen de riego y fracción de drenaje para cada diseño de riego (PRIV)

DISEÑO	RIEGO efectivo (mm)	LLUVIA (mm)	ESCORR. (mm)	EVAP. REAL (mm)	TRANS. REAL (mm)	ETc (mm)	DRENAJE (mm)	F. D.
B0	306.9	400	2.8	197.9	523.1	721.0	4.3	0.00
T0	723.0	400	76.3	252.1	600.1	852.2	278.3	0.25
R0	737.9	400	46.1	256.1	595.7	851.8	293.7	0.26
G0	327.1	400	187.8	260.9	459.6	720.5	4.4	0.00

Tabla 6.51. Volumen de riego y fracción de drenaje para cada diseño de riego (PRV)

DISEÑO	RIEGO efectivo (mm)	LLUVIA (mm)	ESCORR. (mm)	EVAP. REAL (mm)	TRANS. REAL (mm)	ETc (mm)	DRENAJE (mm)	F. D.
B0	308.5	400	1.2	190.9	463.4	654.3	77.2	0.10
T0	743.8	400	55.4	239.3	583.9	823.2	326.7	0.29
R0	702.2	400	1.8	241.4	570.9	812.3	296.8	0.27
G0	327.3	400	187.8	252.6	436.3	688.9	35.8	0.05

6. Resultados y discusión

Tabla 6.52. Volumen de riego y fracción de drenaje para cada diseño de riego (PRVI)

DISEÑO	RIEGO efectivo (mm)	LLUVIA (mm)	ESCORR. (mm)	EVAP. REAL (mm)	TRANS. REAL (mm)	ETc (mm)	DRENAJE (mm)	F. D.
B0	300.8	400	11.2	208.2	502.8	711.0	11.9	0.02
T0	707.4	400	91.8	240.3	595.9	836.2	280.9	0.25
R0	770.2	400	13.8	248.0	594.4	842.4	335.8	0.29
G0	326.8	400	188.1	261.5	436.8	698.3	26.0	0.04

Tabla 6.53. Volumen de riego y fracción de drenaje para cada diseño de riego (PRVII)

DISEÑO	RIEGO efectivo (mm)	LLUVIA (mm)	ESCORR. (mm)	EVAP. REAL (mm)	TRANS. REAL (mm)	ETc (mm)	DRENAJE (mm)	F. D.
B0	299.6	400	12.4	191.2	501.4	692.6	29.1	0.04
T0	704.2	400	95.0	229.8	586.9	816.7	294.3	0.27
R0	770.2	400	13.8	241.5	588.1	829.6	349.5	0.30
G0	327.1	400	187.8	258.1	438.6	696.7	28.7	0.04

- **Diseño A0 y B0:**

- En los diseños A0 y B0 se observa un balance de agua en el que se produce una recarga del acuífero en momentos puntuales coincidiendo con los meses de mayor pluviosidad (Marzo y Octubre) el resto del año las necesidades hídricas son igual o superiores a las entradas de agua (lluvia y riego) de manera que se produce una utilización de la reservas de agua del suelo. En los meses de Abril-Mayo y durante el mes de Agosto se observa un déficit hídrico.
- La humedad del suelo fluctúa disminuyendo en los meses con mayor requerimiento hídrico provocando la aparición de un potencial matricial elevado que coincide con los periodos de mayor desarrollo (Abril-Junio y Julio-Septiembre). Este potencial matricial se incrementa debido al potencial osmótico que depende de la concentración de sales lo cual provoca una situación de estrés para el cultivo.
- El movimiento de agua a través del perfil es alto en los horizontes superiores pero disminuye hacia la parte inferior de los perfiles donde se hace más lento por tanto no hay drenaje en la parte inferior del perfil de manera que las sales se acumulan en los horizontes inferiores presentando una salinidad superior a 4 dS/m en el extracto de saturación incluso con el agua W1 y una

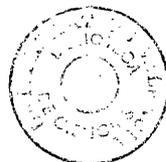
salinidad superior a 4 dS/m en todos los horizontes con las aguas W2 y W3, lo que provoca pérdidas importantes en la cosecha.

- **Diseño T0:**

- El balance de agua en el suelo muestra dos periodos de recarga en los meses de Febrero-Mayo y de Septiembre-Diciembre, no obstante se observa un periodo de déficit hídrico en los meses de verano. En estos meses los requerimientos del cultivo son mayores al resto del año y las plantas deben utilizar las reservas de agua del suelo.
- La humedad del suelo sufre fluctuaciones muy pequeñas a lo largo del año aunque se observa una disminución del contenido de humedad del suelo en los meses de Junio-Julio provocando la aparición de un potencial matricial elevado y un incremento del potencial osmótico debido a la concentración de sales. Durante este periodo las plantas sufren estrés.
- El movimiento de agua en el perfil es alto permitiendo un drenaje continuo durante todo el año excepto durante el periodo estival en el que se produce una acumulación de sales en los horizontes inferiores del perfil. No obstante se observa que el agua W1 no supone un riesgo para la producción de los cítricos mientras que el agua W2 presenta unos picos de salinidad superior a 4 dS/m en el mes de Agosto. El agua W3 provoca un incremento de la salinidad superior a 2 dS/m en el extracto de saturación en todos los horizontes con un pico que llega a alcanzar los 10 dS/m en el mes de Agosto.

- **Diseño R0:**

- El balance de agua muestra una situación en la que se produce la recarga del acuífero durante todo el año. En todo el periodo se observa que la aportación de agua por la lluvia y el riego es superior a las necesidades hídricas del cultivo y por tanto no aparece en ningún momento déficit hídrico ni utilización de las reservas de agua del suelo.
- La humedad se mantiene constante durante todo el año minimizando el potencial matricial que se encuentra por debajo de -100 kPa excepto en el perfil PRV y en algunos meses de los perfiles PRVI y PRVII. Estos perfiles presentan valores de arcilla mayores que el resto de los perfiles y requieren de cantidades de riego algo mayores. En estas condiciones no se produce estrés hídrico para el cultivo, sin embargo si puede existir un estrés osmótico debido a la concentración de sales en el suelo si se utilizan las aguas de calidades W4, W5 y W6.
- El movimiento de agua a través del perfil se produce en todos los horizontes existiendo un drenaje constante hacia el acuífero y por tanto evitando la acumulación de sales en el perfil. Con esta estrategia se pueden utilizar las aguas W1, W2 y W3 aunque con esta última puede aparecer una acumulación de sales en el horizonte inferior debido a la concentración por la extracción de agua por parte de las raíces. En el perfil PRVI aparece una acumulación de sales en el horizonte inferior debido a su característica



6. Resultados y discusión

arcillosa que disminuye la permeabilidad y por tanto el drenaje del perfil. Por otra parte el perfil PRV presenta una capa freática salina próxima a la superficie dificultando el drenaje.

- **Diseño G0:**
 - El balance de agua muestra la ausencia de recarga del acuífero aunque se observa que las entradas de agua (lluvia y riego) son suficientes para atender a la demanda del cultivo.
 - La humedad se mantiene constante durante el año aunque se observa un incremento del potencial matricial a partir de los meses de Marzo-Julio en los horizontes inferiores provocando un incremento de la concentración de sales en estos horizontes que unido a la ausencia de drenaje pueden llegar a valores de salinidad >10 dS/m en las zonas limítrofes del bulbo. Se observa que en la zona húmeda (horizonte superior) la conductividad eléctrica del extracto de saturación es inferior a 4 dS/m incluso con el agua W4 en algunos perfiles. No obstante en los perfiles con textura franco arcillosa el riego por goteo es poco recomendable ya que el movimiento del agua es muy lenta y la acumulación de sales muy activa. Además el elevado contenido de sodio en las aguas W5 y W6 puede provocar de forma puntual una dispersión de arcillas en superficie dificultando la infiltración y por tanto perdiendo el agua por escorrentía superficial (Aringhieri & Capurro, 1994). Cuando la velocidad de infiltración es moderadamente lenta a moderada (clase 3-4) se recomienda el riego de superficie (Porta et al., 1999).

Por tanto se puede concluir que el diseño de riego R0 es en todos los casos el más adecuado ya que distribuye eficazmente a lo largo del año los riegos y el volumen según las necesidades del cultivo. Por otra parte presenta una fracción de drenaje igual o superior a la que presenta el diseño T0 y tiene una escorrentía superficial mucho menor aunque requiere el mismo volumen de agua que el diseño T0.

En las tablas 6.47-6.53 se observa que en el diseño T0 se pierde mucha agua por escorrentía, sobre todo en los perfiles de textura franco arcillosa (PRIV, PRV, PRVI y PRVII) ya que el volumen de riego supera a la capacidad de infiltración y por tanto disminuye la eficacia del riego.

En las normas para la producción integrada en cítricos (Resolución de 31 de julio de 1997, de la Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación, DOGV 3.066 de 28 de agosto de 1997) se establecen una serie de prácticas y recomendaciones relativas al riego que se resume en los aspectos siguientes: (1) El volumen máximo anual utilizado en el riego no podrá sobrepasar los $7.000 \text{ m}^3 / \text{Ha}$ en el riego por inundación y los $6.000 \text{ m}^3 / \text{Ha}$ en el riego localizado (2) la dosis de agua por unidad de superficie utilizada en cada riego y la frecuencia de los mismos deberán acomodarse a la capacidad de retención de humedad del terreno para evitar las pérdidas de agua en profundidad y la consiguiente lixiviación de nutrientes (3) en el riego por goteo se distribuirán los emisores y riego de forma que se consiga una superficie mojada a la profundidad radicular de aproximadamente el 50% del área sombreada y el coeficiente de uniformidad del sector de riego (eficiencia de la aplicación) supere el 85% (4) se recomienda no utilizar aguas de riego con conductividades

superiores a 3 dS/m, SAR > 9 o una concentración de cloruros mayor de 10 meq/l (Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1997).

Por otra parte en el anexo IV y V se dan las orientaciones respecto al número de emisores por árbol y la frecuencia de riego dependiendo del tipo de suelo. Para el caso de suelo arcilloso se recomiendan entre 2-4 emisores por árbol según la edad del mismo y una frecuencia de riego de 2 veces por semana para la primavera y el otoño y 3 veces por semana para el verano. A la vista de los resultados obtenidos con el modelo LEACHM la frecuencia necesaria para la óptima producción de los cítricos es mayor a la recomendada por la normativa.

Pese a que la normativa es bastante restrictiva se puede observar que cuando no existe fracción de drenaje incluso aguas con conductividades bajas (W2) pueden ocasionar problemas de salinidad, de ahí la importancia de tener en cuenta la fracción de drenaje dependiendo de la calidad de agua de riego.

Si comparamos los valores de CEe obtenidos con el modelo LEACHM y los estimados por el modelo WATSUIT para cada fracción de drenaje podemos concluir que la estimación realizada por el modelo WATSUIT es suficientemente orientativa de la tendencia del proceso ya que en ambos casos se indica la calidad W3 como límite para el riego.

El estudio del balance de agua en el suelo permite establecer los flujos de retorno y el drenaje del suelo hacia los acuíferos estableciendo las relaciones que existen entre la fracción de lixiviado y la gestión de riego (Gee & Hillel, 1990; Tanji & Hanson, 1990). Entre 1998-1999 Tuñón et al. (1999) llevaron a cabo un estudio sobre el cálculo del balance del agua en el suelo para una parcela experimental situada en los terrenos pertenecientes a la Estación Depuradora de Agua residuales de la Ciudad de Castellón de la Plana. En este estudio realizaron una experiencia de riego para conocer algunos aspectos como el cálculo de la evapotranspiración, la recarga de acuíferos y el movimiento de contaminantes agrícolas para ello instalaron varios lisímetros y concluyeron que la recarga es inferior a la que generalmente se acepta para el acuífero de Castellón ya que no supera el 10% de las precipitaciones y que el retorno de riegos es prácticamente despreciable. En este estudio pusieron en evidencia que la gestión de riego utilizada actualmente en la zona de Castellón no permite una recarga del acuífero tal como está habitualmente aceptado que se cifra en el 20% de las precipitaciones y en el 25% para el retorno de riegos. Por tanto debe replantearse el modelo conceptual del balance hídrico del acuífero.

Respecto al análisis de la fracción de lixiviado Wagenet (1986) hizo una revisión de los métodos de medida del flujo de agua en el suelo a una determinada profundidad y concluyó que sólo hay unos pocos métodos directos (lisímetros, muestreo del suelo, cápsula porosa de succión, muestreadores de bandeja "Pan samplers" y muestreadores de mecha de fibra de vidrio). Entre los principales problemas de estos métodos están: a) el carácter puntual de la medida; y b) la modificación del suelo debida a la instalación del equipo de medida. Estas son quizás las razones por las que estos métodos directos no se han empleado mucho. Los métodos indirectos de medidas son los más frecuentes. Entre ellos tenemos (Ramos & Kücke, 1999):

- Métodos basados en medidas de gradiente hidráulico y conductividad hidráulica: calculan el flujo de agua entre dos puntos del suelo mediante el producto del gradiente de potencial hidráulico por la conductividad hidráulica media del suelo

6. Resultados y discusión

entre los dos puntos. Este cálculo puede realizarse mediante la utilización de ecuaciones de edafotransferencia (Schaap & Leij, 1998)

- Métodos basados en el balance del agua: el drenaje se calcula en función del resto de términos del balance del agua de una capa de suelo durante un periodo de tiempo determinado mediante la expresión

$$D = \text{lluvia} + \text{riego} - \text{evapotranspiración} - \text{AH} - \text{Escorrentía}$$

En esta ecuación se supone que no hay flujos laterales de agua (excepto la escorrentía superficial)

- Métodos de simulación que en general combinan los dos métodos anteriores con algún método de estimación de la evapotranspiración.

Este último método es el que se ha utilizado para evaluar la fracción de drenaje. El balance de cloruros se ha empleado para estimar el drenaje (Slavich & Yang, 1990; Walker et al., 1991; Lidón et al., 1999; Al-Jamal et al., 1997; Snow et al., 1999), la lixiviación de nitratos (Pratt et al., 1978; Dasberg et al., 1984; Ramos, 1988) y la recarga de acuíferos (Claasen et al., 1986; Allison et al., 1994). Lidón et al. (1999) compararon el drenaje calculado mediante el balance de cloruros con el calculado mediante dos modelos de diferente grado de complejidad (el modelo LEACHM y un modelo sencillo de capacidad de retención de agua por el suelo) en un huerto de cítricos durante tres años obteniendo un acuerdo razonable entre los diferentes métodos. En las figuras 6.555-6.561 se muestra el aporte de cloruros a los acuíferos. Estos aportes incrementan la salinidad de el agua subterráneas cuando las calidades de agua utilizadas son W3, W4, W5 y W6 de manera que se establece un ciclo que a medio y largo plazo incrementará la salinidad de las aguas de riego. Los cloruros se utilizan a modo de trazador debido a que no interaccionan con los coloides del suelo en la fase de intercambio ni son adsorbidos por las plantas por tanto se mantienen en la solución del suelo y son transportados fuera del perfil hacia las aguas subterráneas.

CLOURUROS DE LA FRACCIÓN DE LIXIVIADO

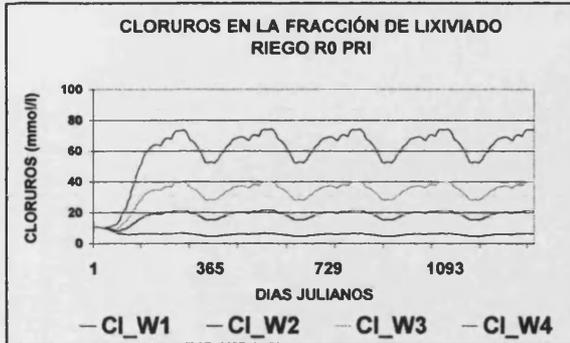


Figura 6.555

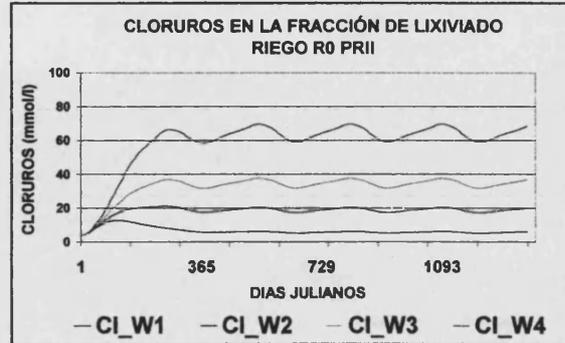


Figura 6.556

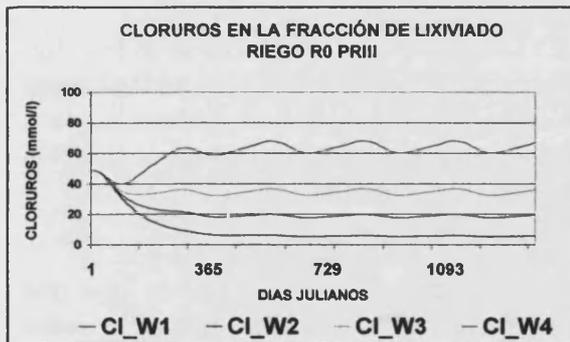


Figura 6.557

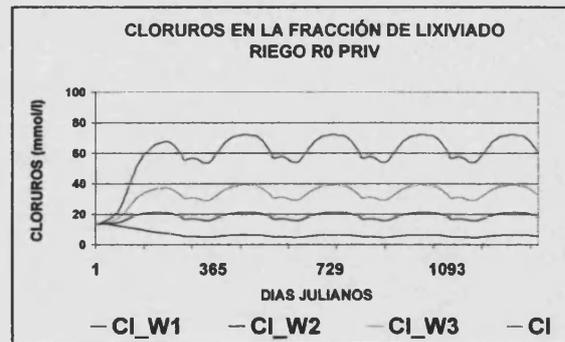


Figura 6.558

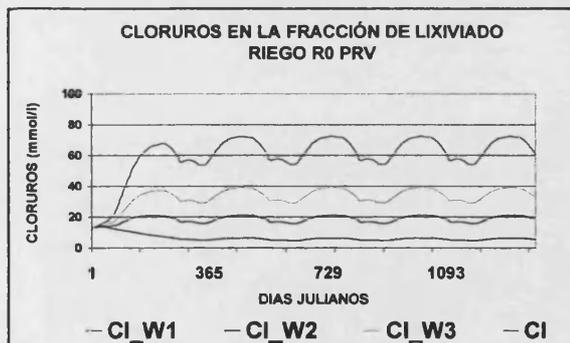


Figura 6.559

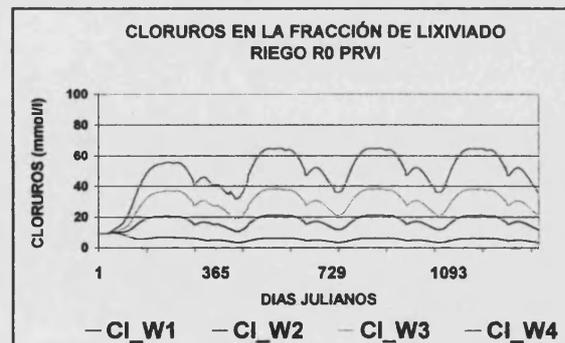


Figura 6.560

6. Resultados y discusión

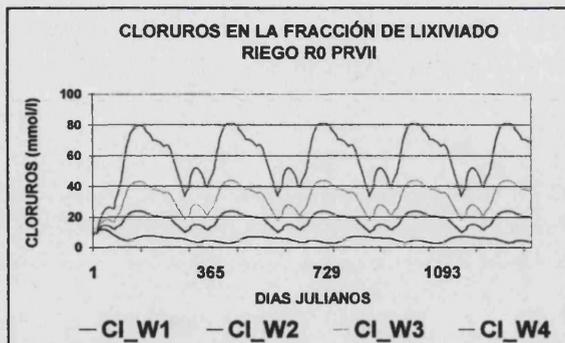


Figura 6.561

Discusión de los resultados obtenidos en la fracción de lixiviado

A partir de la calidad de agua W3 se produce un incremento de los cloruros en la fracción de lixiviado ($Cl^- > 20$ mmol/l) que puede provocar la salinización de las aguas subterráneas de manera que a su vez los pozos de riego contienen aguas más salina incrementando a corto y medio plazo la salinización secundaria de los campos de cultivo. Las aguas W4, W5 y W6 representan un grave riesgo de contaminación de los acuíferos.

Los gráficos 6.562-6.590 representan las dos estrategias de riego con mezclas de agua que se han evaluado (ver capítulo 4). La primera estrategia corresponde con el riego en invierno con el agua de peor calidad y en verano con el agua de mejor calidad (A2_3 y A3_4). La segunda estrategia es la utilización de una calidad media producto de la mezcla de dos calidades de agua en una balsa (M2_3 y M3_4). En ambos casos se han evaluado las mezclas de agua W2-W3 y W3-W4.

PREDICCIONES A 5 AÑOS MEZCLAS W2-W3

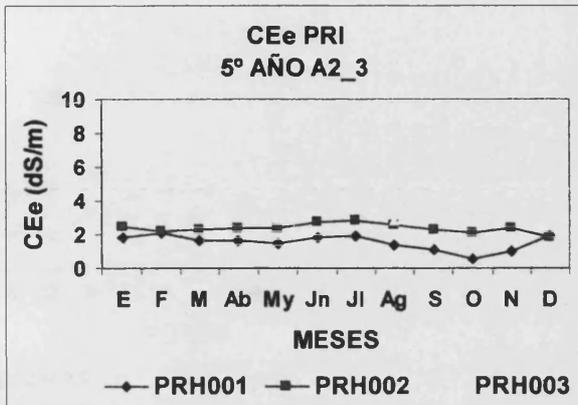


Figura 6.562

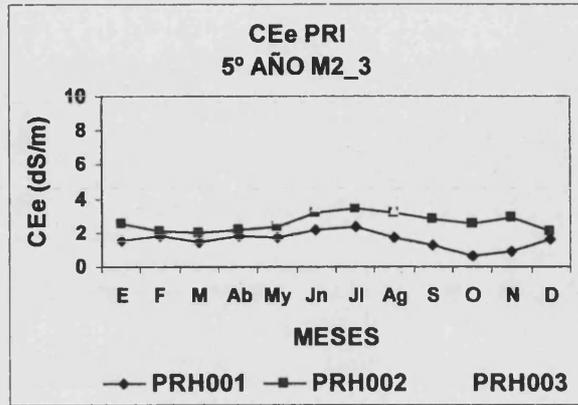


Figura 6.563

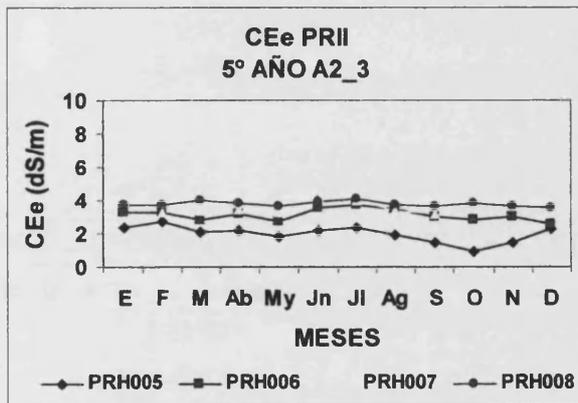


Figura 6.564

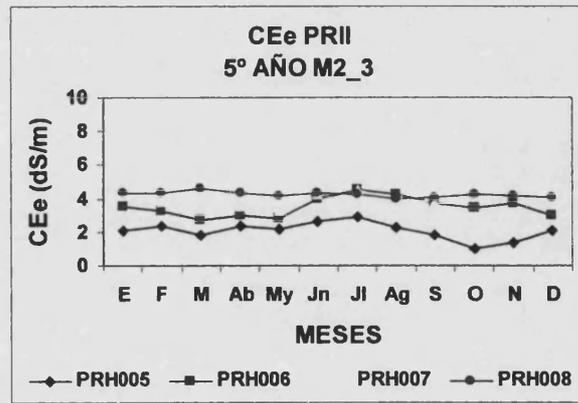


Figura 6.565

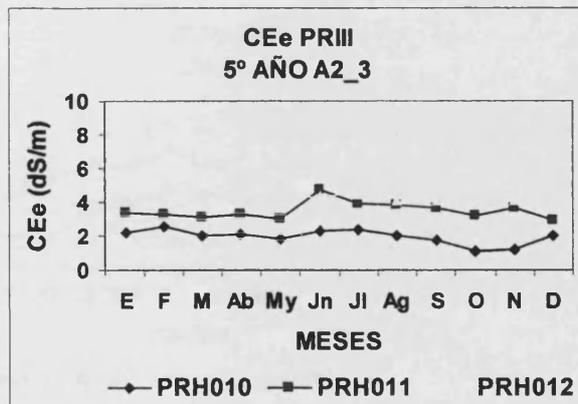


Figura 6.566

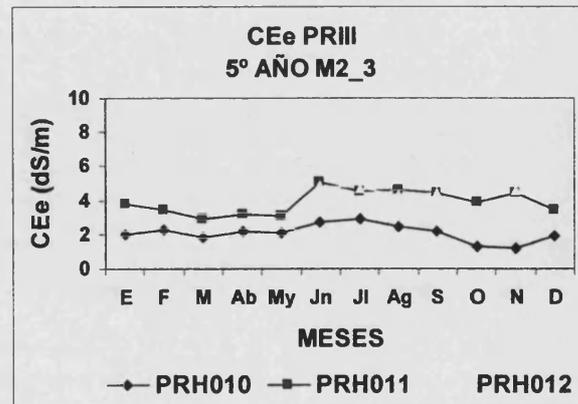


Figura 6.567

6. Resultados y discusión

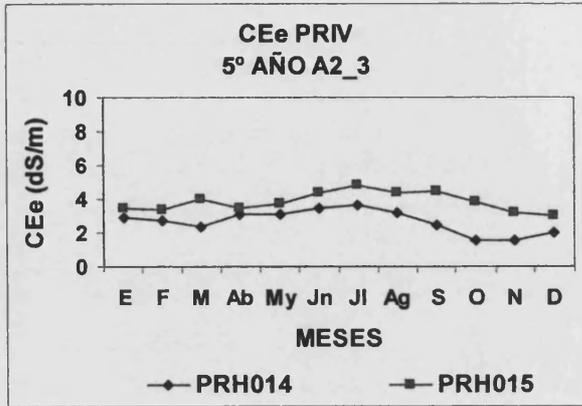


Figura 6.568

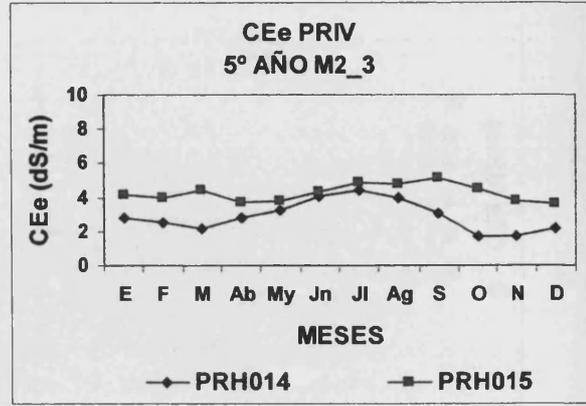


Figura 6.569

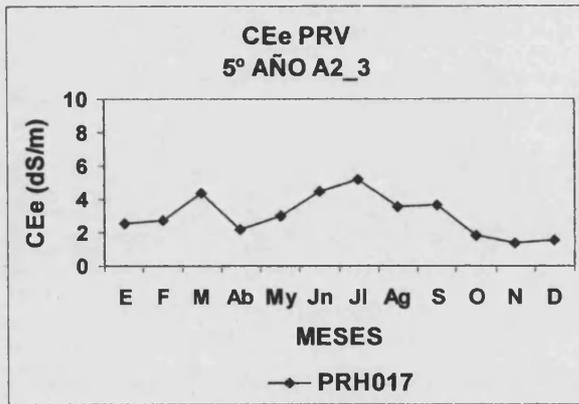


Figura 6.570

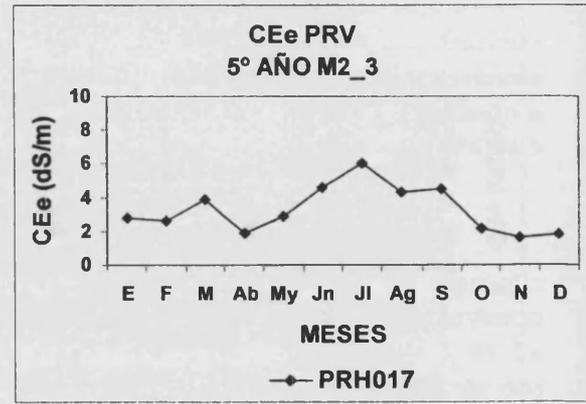


Figura 6.571

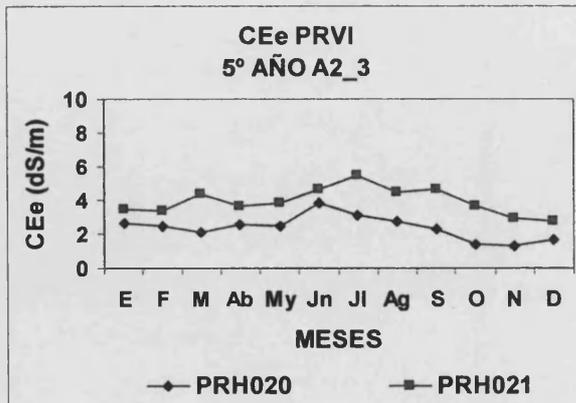


Figura 6.572

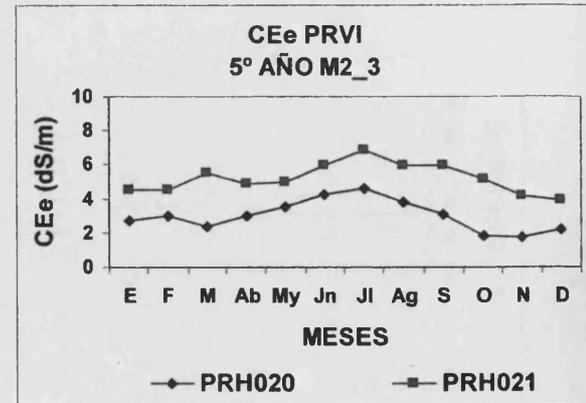


Figura 6.573

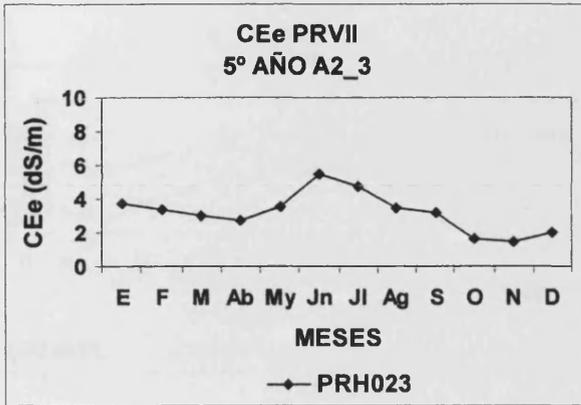


Figura 6.574

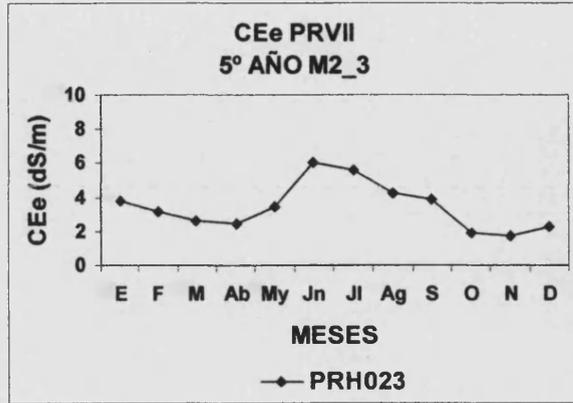


Figura 6.575

6. Resultados y discusión

PREDICCIONES A 5 AÑOS MEZCLAS W3-W4

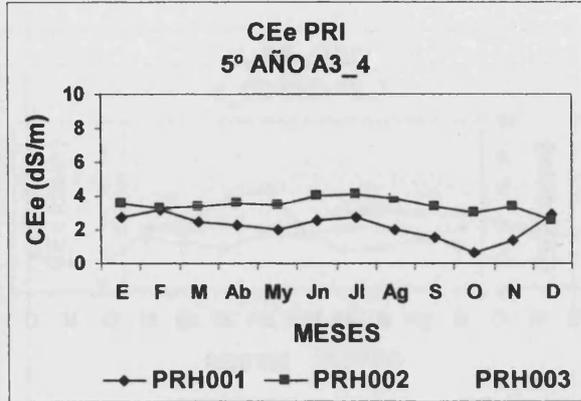


Figura 6.576

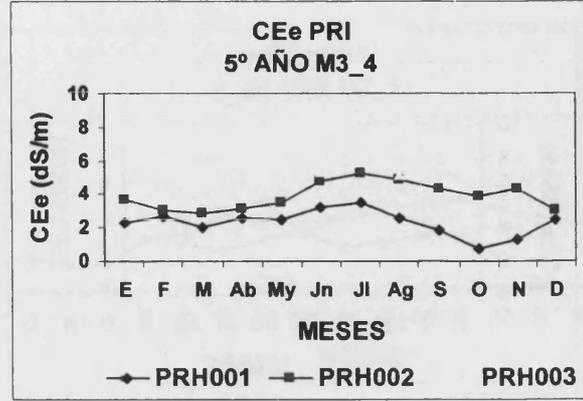


Figura 6.577

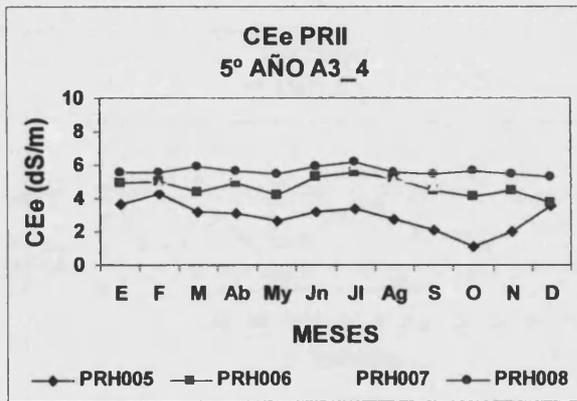


Figura 6.578

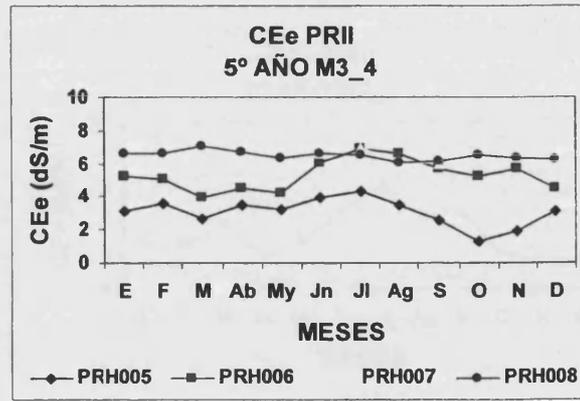


Figura 6.579

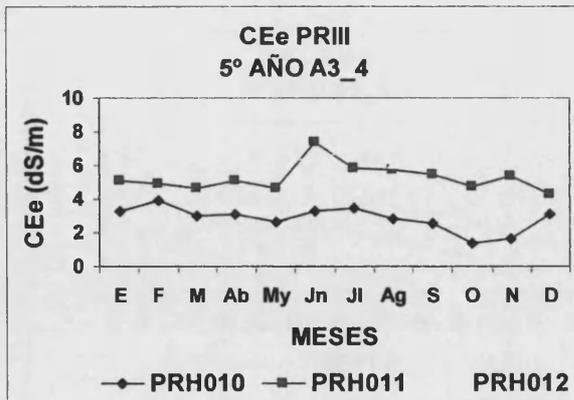


Figura 6.580

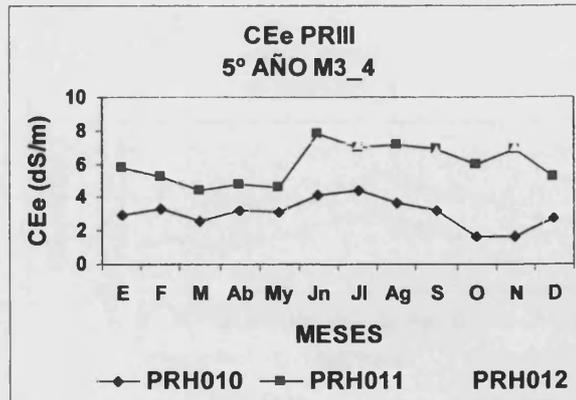


Figura 6.581

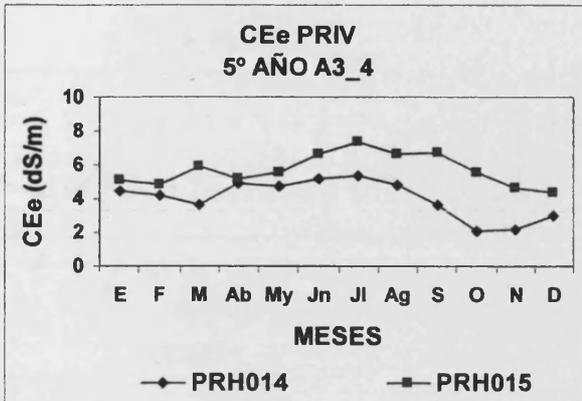


Figura 6.582

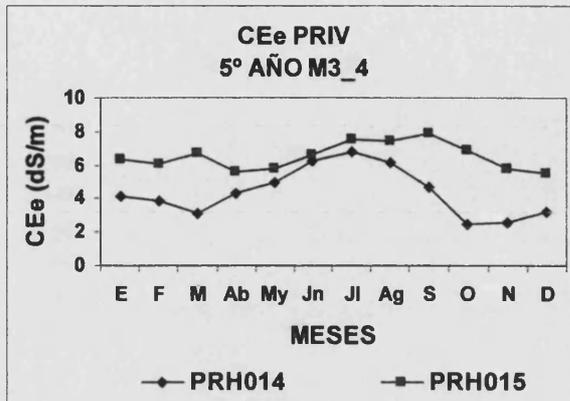


Figura 6.583

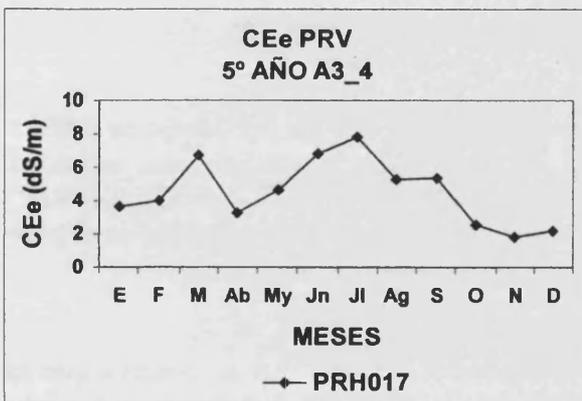


Figura 6.584

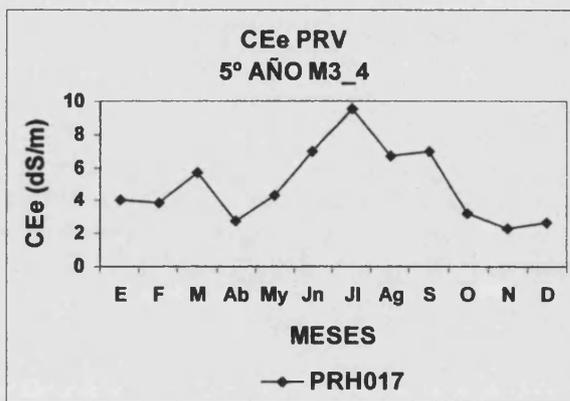


Figura 6.585

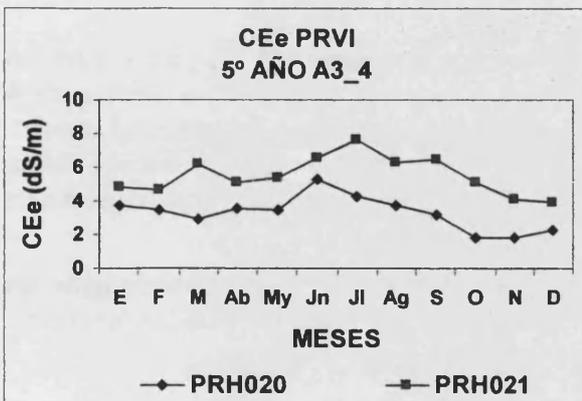


Figura 6.586

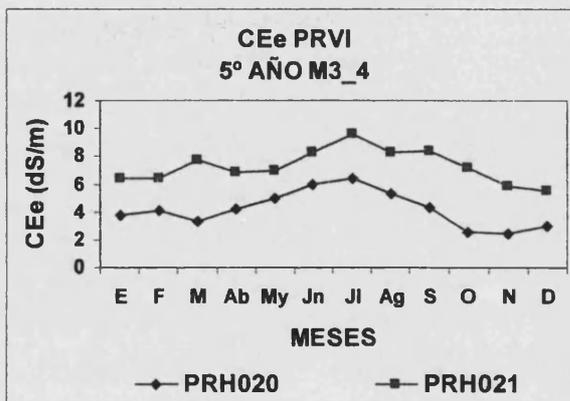


Figura 6.587

6. Resultados y discusión

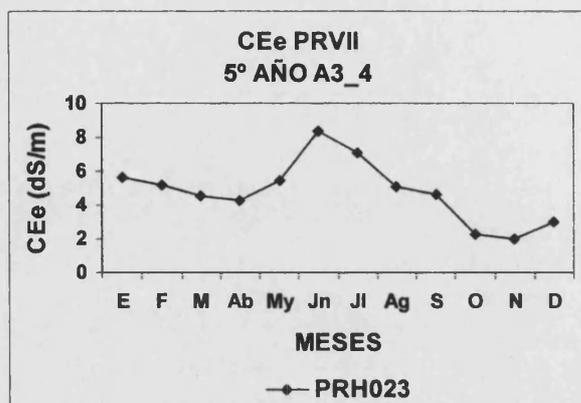


Figura 6.588

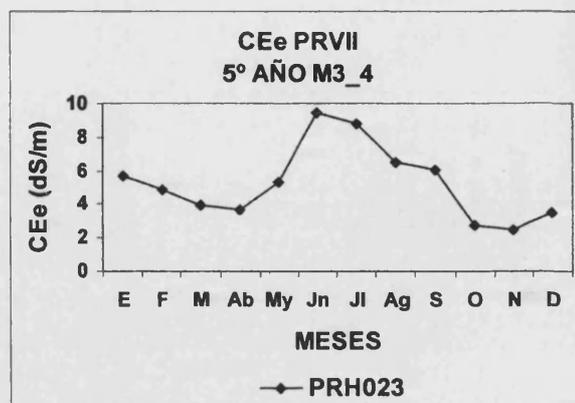


Figura 6.589

Discusión de los resultados obtenidos en la estrategias de mezcla de aguas

- Estrategias de mezcla W2-W3

La estrategia de riego A2_3 permite mantener el valor de CEE por debajo de 4 dS/m durante todo el año mientras que la estrategia M2_3 presenta una salinidad ligeramente mayor sobre todo en los perfiles con textura franco arcillosa (PRIV, PRV y PRVI). En estos perfiles se observa un incremento de la salinidad en el pico del mes de Julio.

- Estrategias de mezcla W3-W4

En el caso de la mezcla de calidades W3-W4 en ambos casos se observa que la conductividad eléctrica es superior al valor umbral ($CEe = 1.7$ dS/m). La estrategia M3_4 presenta un incremento de salinidad mayor al observado con la mezcla de agua W2-W3 por encima de 4 dS/m. El horizonte inferior muestra una acumulación de sales muy alto.

Por tanto la estrategia de mezcla más adecuada es la estrategia A2_3 ya que permite la utilización del agua W3 manteniendo los valores de salinidad por debajo de 4 dS/m en el extracto de saturación. No obstante estos valores de salinidad pueden provocar una disminución de la producción de cítricos y por tanto esta estrategia debe utilizarse únicamente en el caso de que no exista otra posibilidad teniendo en cuenta que la producción no será óptima.

La utilización de las calidades de agua W4, W5 y W6 no es recomendable en ningún caso ya que presentan graves riesgos para la producción y para los acuíferos.

7. Conclusiones y recomendaciones

- CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO LEACHM

1. La calibración y validación del modelo LEACHM para la zona agrícola de Torreblanca mediante la evaluación con índices estadísticos indican la validez del modelo con una eficiencia > 0.80 en la parte hidráulica y > 0.70 en la parte química. No obstante se observa una sobreestimación de las estimaciones respecto de las medidas experimentales.
2. La limitación más importante del modelo se encuentra en que la ecuación de Richards tan solo considera la fracción fina y los suelos estudiados presentan un gran porcentaje de fragmentos rocosos que modifican la permeabilidad sobre todo en profundidad por tanto se debería revisar el código para incluir esta propiedad.
3. Otra limitación importante está en la presencia de vías preferentes de flujo de agua (bypass-flow) debido al desarrollo de la macroporosidad no tenida en cuenta por el modelo y que provoca un incremento en la conductividad hidráulica.
4. La tercera limitación del modelo LEACHM es que presenta un desarrollo incorrecto de la rutina de los carbonatos, no obstante la zona de estudio no presenta problemas de sodicidad debido a la abundante presencia de carbonato cálcico procedente de los materiales parentales.

- ANÁLISIS DE ESCENARIOS

1. Los resultados obtenidos en los modelos CHEMEQ, WATSUIT y CROPWAT han sido evaluados satisfactoriamente por el modelo LEACHM de forma que la metodología propuesta en el análisis de escenarios constituye una herramienta adecuada para la toma de decisiones relativas al uso del suelo y del agua de riego y al mantenimiento de los cultivos teniendo en cuenta el riesgo de degradación medioambiental.
2. La estrategia de riego que se lleva a cabo en Torreblanca (T0) es inadecuada ya que se desarrollan potenciales matriciales elevados durante el periodo seco, unido a la acumulación de sales en los horizontes inferiores y a la ausencia de flujo de agua y drenaje, lo que ocasiona un prolongado estrés hídrico y osmótico en los cultivos durante el periodo de crecimiento.
3. Respecto a la estrategia de riego por goteo que se lleva a cabo en Torreblanca (G0) es completamente inadecuada ya que en los horizontes inferiores se generan potenciales matriciales cercanos al punto de marchitamiento y una acumulación de sales. Por tanto se recomienda que durante los meses de febrero a julio el volumen de riego se incremente y para evitar la evaporación superficial y se recomienda la instalación subterránea de los emisores. Por otra parte, se recomienda continuar el riego durante el periodo de lluvias para evitar la redistribución de sales.

7. Conclusiones y recomendaciones

4. Las calidades de agua con una conductividad eléctrica superior a 3 dS/m (W4, W5 y W6) son inadecuadas para el mantenimiento de la producción debido a que requieren de fracciones de drenaje muy elevadas, por encima del 50% y por tanto se recomienda clausurar los pozos.
5. Las aguas con una conductividad eléctrica entre 2-3 dS/m (calidad de agua W3) presentan problemas de salinización sobre todo en los horizontes inferiores con textura franco arcillosa, estas calidades de agua deben utilizarse con una fracción de drenaje superior a 0.30. Las aguas de riego con conductividad eléctrica inferior a 1.5 dS/m (calidades de agua W1 y W2) pueden utilizarse sin riesgos inmediatos aún en el caso de fracciones de drenaje bajas.

• PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE RIEGO Y RECOMENDACIONES

1. Se propone la estrategia de riego (R0) optimizada para el riego convencional en el análisis de escenarios. En esta estrategia el riego se distribuye más eficientemente sin aumentar el volumen anual ya que se evitan las pérdidas por escorrentía y se mantiene la humedad del suelo constante impidiendo el desarrollo de potenciales matriciales superiores a -100 kPa y evitando el estrés hídrico de las raíces.
2. Por otra parte, como alternativa a la utilización de aguas con $CE \approx 2$ dS/m (W3), se propone la utilización de la peor calidad de agua ($CE \approx 2$ dS/m, W3) en invierno y del agua de mejor calidad ($CE < 1.5$ dS/m, W1-W2) en verano frente a la mezcla de ambas calidades en una balsa y riego con calidad intermedia. La combinación de aguas con diferentes calidades (W2 y W3) permite mantener la conductividad eléctrica por debajo de 4 dS/m en todo el perfil disminuyendo los riesgos producidos por la utilización en exclusiva de aguas con $CE > 2$ dS/m (W3).
3. La normativa sobre la producción integrada en cítricos recomienda la reducción del consumo de agua disminuyendo las pérdidas por drenaje lo que ocasiona un incremento en la salinización de los cultivos por la utilización de aguas con $CE > 2$ dS/m. Por tanto la normativa debería ser más restrictiva y debería tener en cuenta la necesidad del drenaje en los campos incluso aplicando el sistema de riego por goteo cuando la conductividad eléctrica es superior a 2 dS/m.
4. Se recomienda no utilizar las calidades de agua con $CE > 3$ dS/m por el riesgo que comporta sobre la producción de los cultivos y la salinización de los suelos agrícolas así como el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas debido a los aportes de solutos de las aguas de drenaje.

8. Bibliografia

- Abad A. 1993. Caracterización fisicoquímica del Prat de Cabanes-Torreblanca. Problemas asociados con las transformaciones de suelos orgánicos afectados por sales. Tesis de licenciatura. Facultad de Farmacia. Universitat de València. Valencia, Spain.
- Abad, A. & Batlle-Sales, J. 1992. Degradation of physicochemical properties of inorganic salt-affected soils caused by agricultural transformations in coastal salt-marshes. A case study in Castellón (E. Spain). *Agrokömia és Talajtan*.
- Adams, F. 1973. Ionic concentration and activities in soil solutions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35:420-426.
- Addiscott, T. M. & Bailey, N. J. 1990. Relating the parameters of a leaching model to the percentages of clay and other soil components. In K. Rhoth et al (ed.) *Fiel-scale water and solute flux in soils*. Birkhauser Verlag. Basel.
- Addiscott, T. M. & Wagenet, R. J. 1985. Concepts of solute leaching in soils: a review of modelling approaches. *J. Soil Sci.* 36:411-424.
- Addiscott, T. M. 1977. A simple computer model for Leaching in structured soils. *J. Soil Sci.* 28:554-563.
- Akinremi, O. O. & McGinn, S. M. 1996. Usage of moisture models in agronomic research. *Proc. Of the Baier and Robertson Sysposium on Modelling and Measurement of Soil Water Content. Can. J. Soil Sci. Vol 76 n° 3:285-295.*
- Al-Jamal, M. S.; Sammis, T. W. & Jones, T. 1997. Nitrogen and chloride concentration in deep soil cores related to fertilization. *Agric. Water Manag.* 34:1-16.
- Allen, R.G.; Pereira, L. S.; Raes, D. & Smith, M. 1998. *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requeriments*. FAO Irrigation and Drainage paper 56. Roma.
- Allison, G. B.; Gee, G. W.; Tyler, S. W. 1994. Vadose-zone techniques for estimating groundwater recharge in arid and emiarid regions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:6-14.
- Alva, A. K. & Syvertsen, J. P. 1991. Soil and citrus tree nutrition are affected by salinized water. *Proceedings of the Florida State Horicultural Society* 104:135-138.
- Álvarez-Benedi, J.; Isla, T.; Cartón, A. & Bolado, S. 1999. Efecto de la velocidad de flujo en los parámetros de transporte de solutos. In *Estudios de la Zona no Saturada del suelo*. Eds. R. Muñoz-Carpena, A. Ritter, C. Tascón. ICIA. Tenerife.
- American Society for Testing and Materials. 1985. Standard test method for dispersive characteristics of clay soil by double hydrometer. D4221-83a *Annual Book of ASTM Standards* 04.08:733-735. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- Anderson, M. P. & Woessner, W. W. 1992. *Applied groundwater modelling: simulation of flow and advective transport*. Academic Press. San Diego, CA.

8. Bibliografía

- Anderson, M. P. 1979. Using models to simulate the movement of contaminants through groundwater flow systems. CREC Critical Reviews in Environmental Control. pp. 97-156. Boca Raton, FL.
- Aragüés, R.; Millan, M.; Quilez, D. & Fernández, M. 1986. Métodos de medida de la salinidad del suelo I y II. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Unidad de Suelos y Riegos. Madrid.
- Aringhieri, R. & Capurro, M. 1994. Evaluating saturated hydraulic conductivity of a soil in laboratory investigations: An empirical model. *Soil Science* Vol 157 n° 2:77-83.
- Aringhieri, R. & Giachetti, M. 2000. Assessing soil volumetric water content and salinity by time domain reflectometry. International symposium on Techniques to control salinization for horticultural productivity. In press. Turquía.
- Aringhieri, R. 2002. A simple empirical method to evaluate the electrical conductivity of soils and water by TDR. Proceedings of the 17th World Congress of Soil Science. Thailand.
- Arndt, J. L. & Richardson, J. L. 1989. Geochemistry of hydric soil salinity in a Recharge-Throughflow-Discharge Prairie-Pothole wetland system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:848-855.
- Assouline, S. 2001. A model for soil relative hydraulic conductivity based on the water retention characteristic curve. *Water Resources Research* vol 37 n° 2:265-271.
- Astarai, A. R. & Chauhan, R. P. S. 1991. Relative affinity of calcium and magnesium and its impact on soil sodification. *Agrochimica* Vol XXXV N. 5-6:481-487.
- Atkins, P. W. 1999. *Fisicoquímica*. Omega. Barcelona.
- Ayers, R. S. & Westcot, D. W. 1985. *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. Rome.
- Baker, J. M. & Allamaras, R. R. 1990. System for automatic and multiplexing soil moisture measurement by time domain reflectometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1-6.
- Baker, J. M. & Lascano, R. J. 1989. The spatial sensitivity of time domain reflectometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:378-384.
- Battle-Montero, E. 2001. One-step determination of alkaline, earth-alkaline and ammonium ions in waters and soil extract samples by ion-chromatography. Proceedings of the XXX Scientific Meeting of the Group of Chromatography and Related Techniques. GCTA2001. Valencia, Spain.
- Battle-Sales, J. & Abad, A. 1992. Survey and mapping of salt affected soil using remote sensing and geographical information systems. Proceedings of the International Symposium on Strategies for Utilizing Salt Affected Lands. Bangkok. Thailand.

- Batlle-Sales, J. & Hurtado, A. 2002. Using CROPWAT, WATSUIT and PHREEQC models for sustainable management of irrigated crops. International Symposium on Sustainable Use and Managements of Soils in Arid and Semiarid regions. Murcia. Spain.
- Batlle-Sales, J. & Regolf, P. 1992. Physicochemical properties and mineralogy of an histosol in a marsh area of Castellón (Spain). Proceedings of the Symposium on Strategies for utilization Salt-Affected Lands. Bangkok. Thailand.
- Batlle-Sales, J. 1997. A holistic approach to salt-affected lagoon ecosystems: development and ecology. Batlle, J. (ed.) In Proceeding of the International Symposium of Salt-Affected Lagoon Ecosystems. Valencia. Spain.
- Batlle-Sales, J. 1998. The role natural salt-affected ecosystems in the maintenance of biodiversity. Proceedings of the 16th World Congress of Soil Science. Montpellier. France.
- Batlle-Sales, J. 1999. Salt affected soils: their origin, properties and environmental significance. In Irrigation manegement and saline conditions. Ed. Dr. Nassim Al-Abed. Proceedings Regional Symposium Just. Irbid. Jordan.
- Batlle-Sales, J. 2001. An integrated approach for sustainable management of lands susceptible to degradation/desertification. Final Report of The Research Project PL970598-Contract ENV4-CT97-0681. Universitat de Valencia. European Commission. Directorate General XII Science, Research and RTD. Valencia. Spain.
- Batlle-Sales, J. 2003. Scaling up the results of ID simulation models. In: Innovative Soil-Plant Systems for sustainable Agricultural Practices. J. M. Lynch, J. S. Schepers & I. Ünver (Ed). OECD. Izmir. Turkey.
- Batlle-Sales, J.; Abad, A.; Bordás, V. & Pepiol, E. 1994. Soil transformations in salt-stressed lagoon ecosystems. Proceedings of the 15th World Congress of Soil Sci. Acapulco. Mexico.
- Batlle-Sales, J.; Bordás, V. & Felipe, C. 1997. Investigation on Salt-Affected Soils in the West-Mediterranean Region (Valencia, Spain). Proceedings International Symposium on Sustainable Manegement of Salt Affected Soils in the Arid Ecosystems and FAO-Workshop (Network group) on Integrated Management of Sustainable use of Salt Affected Soils. Cairo. Egipto.
- Batlle-Sales, J.; Bordás, V.; Hurtado, A. & Batlle-Montero, E. 1999. Research on salinity in the spanish west-mediterranean region (Valencia). Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt-Affected Soils. Turquía.
- Batlle-Sales, J.; Hurtado, A. & Batlle-Montero, E. 2000. Cartografía quasi-tridimensional de cambios multitemporales en la salinidad mediante medida del campo electromagnético inducido y geoestadística. R. Quintero-Lizaola, T. Reyna-Trujillo, L. Corlay-Chee, A. Ibañez-Huerta y N.E. García-Calderón (Eds.). La Edafología y sus perspectivas al siglo XXI. Tomo II. Colegio de Postgraduados, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Chapingo. México.

8. Bibliografía

- Batlle-Sales, J.; Hurtado, A. & Batlle-Montero, E. 2001. Scaling up the results of 1D solute transport and reaction simulation model in Torreblanca soils (Spain). Proceedings of the International FAO Workshop on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt-Affected Soils. SPUSH 2001. Valencia. Spain.
- Batlle-Sales, J.; Hurtado, A. & Batlle-Montero, E. 2002. Effect of wetland transformation on groundwater quality and soil salinization in neighbouring agricultural areas. Proceedings of the 17th World Congress of Soil Science. Thailand.
- Batlle-Sales, J.; Pepiol, E.; Bordás, V.; Soriano, P. & Pérez, R. 1995. Increase of soil salinity in a palustrian ecosystem by effect of vegetation burning practices. Ed. Jorge Batlle Sales. International Symposium on Salt-Affected Lagoon Ecosystems (ISSALE-95). Valencia.
- Bernstein, L. & Pearson, G. A. 1956. Influence of exchangeable sodium on the yield and chemical composition of plants. I. Greenbeans, garden beets, clover and alfalfa. *Soil Sci.* 82:247-258.
- Bernstein, L. 1974. Crop growth and salinity. In *Drainage for Agriculture*. J. van Schilfgaarde (Ed.). *Agronomy* 17:39-54.
- Bernstein, L. 1980. Salt tolerance of fruit crops. *US Dept. Agr. Info. Bull.* 292.
- Beven, K. J.; Henderson, D. E. & Reeves, A. D. 1993. Dispersion parameters for undisturbed partially saturated soil. *J. Hydrol.* 143:19-43.
- Bevington, K. B. & Castle, W. S. 1985. Annual root growth pattern of young citrus trees in relation to shoot growth, soil temperature and soil water content. *Journal of the American Society for Horticultural Sciences* 110:840-845.
- Bielorai, H.; Dasberg, S.; Erner, Y. & Brum, M. 1988. The effect of saline irrigation water on Shamouti orange production. *Proceedings of the International Society of Citriculture* 2:707-715.
- Bingham, F. T.; Peryea, F. J. & Rhoades, J. D. 1981. Boron tolerance character of wheat. *Proceedings Inter-American Salinity and Water Management Technology*. pp 208-216. Mexico.
- Blake, G. R. 1965. Bulk density. In C. A. Black et al. (ed.) *Methods of soil analysis, part 1*. *Agronomy* 9:383-390.
- Bloom, P. R. 2000. Soil pH and pH buffering. In Sumner, M. E. (ed.) *Handbook of Soil Science*. CRC Press. Boca Raton. Florida.
- Bohne, K.; Roth, C.; Leij, F. J. Van Genuchten M. Th. 1993. Rapid method for estimating the unsaturated hydraulic conductivity from infiltration measurements. *Soil Science* vol 156 n° 1:237-244.

- Bordás, V.; Batlle-Sales, J. & Felipe, C. 1997. Risk degradation assesment of border areas of two salt affected lagoons under semiarid climate in S. E. Spain. Ed. Jorge Batlle Sales. Intenational Symposium on Salt-Affected Lagoon Ecosystems (ISSALE-95). Valencia. Spain.
- Bouma, J. 1997. The land use systems approach to planning sustainable land management at several scales. *ITC Journal* 3/4.
- Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54:464-465.
- Bresler, E. 1973. Simultaneous transport of solutes and water under transient unsaturated flow conditions. *Water Resour. Res.* 9:975-986.
- Bresler, E.; McNeal, B. L. & Carter D. L. 1982. Saline and sodic soils Principles-dynamics-modeling. Springer-Verlag. New York.
- Brusseau, M. L. & Rao, P. S.C. 1990. Modelling solute transport in structured soils: A review. *Geoderma* 46:169-192.
- Cabrera, R.; Ponce de Leon, D.; Balmaseda, C. & Armas, C. 1993. Evaluación de la aptitud de las tierras en áreas cañeras salinizadas mediante el uso de in SIG.
- Campbell, G. 1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. *Soil Sci.* 117:311-314.
- Cannon, M. E.; McKenzie, R. C. & Lachapelle, G. 1994. Soil salinity mapping with electromagnetic induction and satellite-based navigation methods. *Can. J. Soil Sci.* 74:335-343.
- Cánovas, J. 1980. Calidad agronómica de las aguas de riego. Publicaciones de Extensión Agraria. Madrid.
- Castillo-Pérez, E. & Morell, I. 1988. La hidroquímica en los estudios de intrusión marina en los acuíferos españoles. In *Tecnología de la intrusión de acuíferos costeros. TIAC 88.* Fernández-Rubio, R; López-Geta, J. A. & Ramos-González, G. (Ed.).
- Cavanilles, A. J. 1795. Observaciones sobre la historia natural, geografía, agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia. Madrid.
- Childs, S. W. & Hanks, R. J. 1975. Model of soil salinity effects on crop growth. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 39:617-622.
- Childs, S. W. 1975. A model to predict the effect of salinity on crop growth. M. S. Thesis. Utah State Univ. Logan. Utah.

8. Bibliografía

Claasen, H. C.; Reddy, M. M. & Halm, D. R. 1986. Use of the chloride ion in determining hydrologic-basin water budgets. A 3-year case study in the San Juan Mountains, Colorado (USA). *J. Hydrol.* 85:49-71.

Clapp, R. B. & Hornberger, G. M. 1978. Empirical equations for some soil hydraulic properties. *Water Resources Research* 14:601-604.

Clarke, D.; Smith, M & El-Askari, K. 1998. *CropWat for Windows: User Guide. Version 4.2.* University of Southampton. UK.

Cobertera, E. 1993. *Edafología Aplicada.* Ed. Cátedra. Madrid.

Connell, L. D.; Jayatilaka, C. & Nathan, R. 2001b. Modeling flow and transport in irrigation catchments. 2. Spatial application of subcatchment model. *Water Resources Research* vol 37 n° 4:965-977.

Connell, L. D.; Jayatilaka, C.; Gilfedder, M.; Mein, R. G. & Vandervaere, J. P. 2001a. Modeling flow and transport in irrigation catchments. 1. Development and testing of subcatchment model. *Water Resources Research* vol 37 n° 4:949-963.

Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1997. *Normativa sobre la producción integrada en cítricos.* Generalitat Valenciana. Valencia.

Cornell University. 1996. *LEACHM computer program and documentation.* Cornell University. New York.

Corwin, D. L. & Rhoades, J. D. 1982. An improved technique for determining soil electrical conductivity depth relations from above ground electromagnetic measurements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:517-520.

Corwin, D. L. & Rhoades, J. D. 1984. Measurement of inverted electrical conductivity profiles using electromagnetic induction. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:288-291.

Costa, M. 1995. Plant ecology of salt-affected lagoon ecosystems. *Proceedings of the International Symposium on Salt-Affected Lagoon Ecosystems (ISSALE-95).* Valencia.

Costa, M. 1999. *La vegetación y el paisaje en las tierras valencianas.* Ed. Rueda, S.L. Madrid.

Crank, J. & Nicolson, P. 1947. A practical method for numerical evaluation of solutions of partial differential equations of the heat-conduction type. *Proc. Cambridge Phil. Soc.* 43: 50-67.

Crawford, J. W.; Matsui, H. & Young, I. M. 1995. The relation between the moisture release curve and the structure of soil. *Eur. J. Soil Sci.* 46:369-375.

Crosetto, M.; Tarantola, S. & Saltelli, A. 2000. Sensitivity and uncertainty analysis in spatial modelling based on GIS. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 81:71-79.

- Curtin, D.; Selles, F. & Steppuhn, H. 1995. Sodium-calcium exchange selectivity as influenced by soil properties and method of determination. *Soil Science* vol 159 (1):176-184.
- Dalton, F. N. & Poss, J. A. 1990. Soil water content and salinity assesment for irrigation scheduling using time domain reflectometry: principles and applications. *Acta Horticulturae* 278:381-393.
- Dalton, F. N. 1992. Development of time domain reflectometry for measurin soil water content and bulk soil electrical conductivity. In *Advances in Measurement of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice*. Soil Sci. Society of America. Special Publication nº 30. Madison, Wisconsin.
- Dasberg, S; Erner, Y. & Bielorai, H. 1984. Nitrogen balance in a citrus orchard. *J. Environ. Qual.* 13:353-356.
- Davidson, J. M.; Graetz, P. S.; Rao, C. & Selim, H. M. 1978. Simulations of nitrogen movement, transformation, and uptake in plant root zone. EPA -600/3-78-029.
- Davies, F. S. & Albrigo, L. G. 1994. *Cítricos*. Ed. Acribia, S. A. Zaragoza.
- Davies, F. S. 1986. The navel orange. In *Horticultural Reviews*. Janik, J. (Ed.). AVI Publishing Co. pp. 129-180. Westport, Conecticut.
- De Backer, L. S. & Klute, A. 1967. Comparison of pressure and suction methods for soil-water content-pressure head determinations. *Soil Science* 104:46-55.
- De Jong, R & Bootsma, A. 1996. Review of recents developments in soil water simulation models. *Proc. Of the Baier and Robertson Sysmposium on Modelling and Measurement of Soil Water Content*. *Can. J. Soil Sci.* 76 (3):263-273.
- De Wit, C. T. 1993. Phylosophy and terminology. In P. A. Leffelaar (ed.) *On systems analysis and simulation of ecological processes*. Kluver Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands.
- Del Rivero, J. M. 1981. Citrus industry in Spain. *Proceedings fo the International Society of Citriculture* 2:973-985.
- Dexter, A. R. & Bird, N. R. A. 2001. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil & Tillage Research* 57:203-212.
- Dirksen, C.; Kool, J. B.; Koorevaar, P. & Van Genuchten, M. Th. 1993. HYSWASOR - Simulation model of hysteric water and solute transport in the root zone. In: D. Russo and G. Dagan (eds.), *"Water Flow & Solute Transport in Soils"*, Springer-Verlag. pp. 99-122. New York.

8. Bibliografía

Doorenbos, J.; Pruitt, W. O.; Aboukhaled, A.; Damagnez, J.; Dastane, N. G.; Van Der Berg, C.; Rijtema, P. E.; Ashford, O. M.; Frère, M. & FAO Field Staff. 1992. Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage n° 24. Rome.

Drever, J. I. 1997. The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments. 3ª Edition. Prentice Hall, Inc.

Duchaufour, Ph. 1987. Manual de Edafología. Ed. Masson, S. A.

Eijkelkamp. 1995a. 0803 ICW laboratory equipment for determination of soil moisture characteristic curves of soil samples (pf-curve), pf 0 - pf 42 (0-155 bar). Product group III: Soil laboratory equipment Brochure n° III/0803/85/E. Eijkelkamp Agrisearch Equipment. The Netherlands.

Eijkelkamp. 1995b. 0902 ICW laboratory permeameters for determination of water permeability of soil samples. Product group III: Soil laboratory equipment Brochure n° III/0902/85/E. Eijkelkamp Agrisearch Equipment. The Netherlands.

Eliassi, M & Glass, R. J. 2001. On the continuum-scale modeling of gravity-driven fingers in unsaturated porous media: The inadequacy of the Richards equation with standard monotonic constitutive relations and hysteretic equations of state. *Water Resources Research* 37(8):2019-2035.

Evet, S. R. 1994. TDR-temperature arrays for analysis of field soil thermal properties. Proceedings of the Symposium on Time Domain Reflectometry in Environmental, Infrastructure and Mining Applications. Illinois.

Evet, S. R.; Howell, T. A.; Steiner, J. L. & Cresap, J. L. 1993. Evapotranspiration by soil water balance using TDR and neutron scattering. In *Management of Irrigation and Drainage Systems, Integrated Perspectives*. Am. Soc. Civil Eng. R. G. Allen and C.M.U. Neale (eds).

Fabregat-Santiago, F.; Ferriols, N. S.; García-Belmonte, G.; Bisquert, J. & Morell, I. 1999. Estudio de los diferentes estados energéticos del agua del suelo en función de los fenómenos de relajación dieléctrica. In *Estudios de la Zona no Saturada del suelo*. Eds. R. Muñoz-Carpena, A. Ritter, C. Tascón. ICIA. Tenerife.

FAO. 1991. Citrus fruit fresh and processed annual statistics. Commodities and Trade Division. CC:CI/91. FAO. Roma.

Fassbender, H. W. 1982. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Costa Rica.

Faz, A.; Ortíz, R. & Mermut, A. R. 2002. Sustainable use and management of soils in arid and semiarid regions. Ángel Faz, Roque Ortíz and Ahmet R. Mermut (Eds.). SUMASS2002. Vol I-II. Murcia. Spain.

- Felipe, C. 1995. Hydrochemical indexes as indicator of salinity origin in salt-affected lagoon ecosystems. International Symposium on Salt-Affected Lagoon Ecosystems (ISSALE-95). Valencia, Spain.
- Ferrand, L. A. & Celia, M. A. 1992. The effect of heterogeneity on the drainage capillary pressure-saturation relation. *Water Resources Research*. 28:859-870.
- Fetter, C. W. 1994. Applied hydrogeology. 3^a Edition. Prentice-Hall. New Jersey.
- Ford, H. W. & Tucker, D. P. H. 1975. Blockage of drip irrigation filters and emitters by iron-sulfur-bacterial products. *HortScience* 10:62-64.
- Gee, G. W. & Hillel, D. 1990. Groundwater recharge in arid areas: Review and critique of estimation methods. *Hydrol. Processes* 2:255-266.
- Gerke, H.H. & van Genuchten, M.Th. 1993. A dual-porosity model for simulating the preferential movement of water and solutes in structured porous media. *Water Resources Research* 29:305-319.
- Giménez, E. & Morell, I. 1988. La intrusión marina en los acuíferos costeros de la provincia de Castellón. In *Tecnología de la intrusión de acuíferos costeros*. TIAC 88. Fernández-Rubio, R; López-Geta, J. A. & Ramos-González, G. (Ed.).
- Giménez, E.; Morell, I. & Fidelibus, M^a D. 1996. Importancia de los procesos de intercambio iónico en la caracterización de la intrusión marina en el acuífero de Oropesa (Castellón-España). *Correlación Geológica* 11:183-192.
- Griffin, R. A. & Jurinak, J. J. 1973. Estimation of activity coefficients from the electrical conductivity of natural aquatic systems and soil extracts. *Soil Science* 116:26-30.
- Guéguen, Y. & Palciauskas, V. 1992. *Introduction à la physique des roches*. Hermann. Paris.
- Hagi-Bishow, M. & Bonnell, R. B. 2000. Assessment of LEACHM-C model for semi-arid saline irrigation. *ICID Journal* 49 (1):29-42.
- Halvorson, A. D.; Rhoades, J. D. & Reule, C. A. 1977. Soil salinity four-electrode conductivity relationships for soils of the northern great plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:966-971.
- Hanks, R. J. & Ashcroft, G. L. 1980. *Applied Soil Physics*. In *Advanced Series in Agricultural Sciences* 8. Ed. Springer-Verlag. New York.
- Hatcher, J. T.; Blair, G. Y. & Bower, C. A. 1959. Response of beans to dissolved and adsorbed boron. *Soil Science* 88:98-100.
- Healy, R.W. 1990. Simulation of solute transport in variably saturated porous media with supplemental information on modifications to the U.S. Geological Survey's Computer

8. Bibliografía

- Program VS2D. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 90-4025, 125 p.
- Hendrickx, J. M. H. 1990. Determination of hydraulic soil properties. In *Process Studies in Hillslope Hydrology*. M. G. Anderson & T. P. Burt (ed.). John Wiley. New York.
- Hilgeman, R. H. 1977. Response of citrus trees to water stress in Arizona. *Proceedings of the International Society of Citriculture* 1:70-74.
- Hoosbeek, M., R.; Amundson, R. G. & Bryant R. B. 2000. Pedological modelling. In Sumner, M. E. (ed.) *Handbook of Soil Science*. CRC Press. Boca Raton.
- Hutson, J. L. & Cass, A. 1987. A retentivity function for use in soil-water simulation models. *J. Soil Sci.* 38:105-113.
- Hutson, J. L. & Wagenet, R. J. 1992. LEACHM: Leaching Estimation and Chemistry Model: A process based model of water and solute movement transformations, plant uptake and chemical reactions in the saturated zone. Version 3. Research Series N° 92-3. Dept. of Soil, Crop, and Atmospheric Sciences, Cornell University. Ithaca. New York.
- Hutson, J. L. 1986. Water retentivity of some South African soils in relation to particle size criteria and bulk density. *S. Afr. J. Plant Soil* 3:151-155.
- Hutson, J. L. 2001. LEACHM computer program and documentation. Hutson, J. L. (ed.). Australia.
- IGME. 1981. Problemática de las aguas subterráneas en la provincia de Castellón de la Plana. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- IMKO. 1996. Theoretical aspects on measuring moisture using TRIME. IMKO.
- Jenny, H. 1941. *Factors of soil formation - A system of qualitative pedology*. McGraw-Hill. New York.
- Jenny, H. 1961. Derivation of state factor equation of soils and ecosystems. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25:385-388.
- Jensen, M. E.; Burman, R. D. & Allen, R. G. 1990. *Evaporation and irrigation waters requirements*. ASCE Manual n° 70.
- Jiménez-Ballesta, R. 1976. Formaciones edáficas sobre materiales carbonatados en clima mediterráneo de la provincia de Castellón de la Plana. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- Jurinak, J. J. & Suárez, D. L. 1990. Measuring salinity. In Tanji, K. K. (Ed.), *Agricultural Salinity Assessment and Management*. Manual n° 71 ASCE. New York.
- Jury, W. A.; Spencer, W. F. & Farmer, W. J. 1983. Behavior assessment model for trace organics in soil: I. Model description. *J. Environ. Qual.* 12:558-564.

- Kemper, W. D. & Van Schaik, J. C. 1966. Diffusion of salts in clay-water systems. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:534-540.
- Keren, R. 2000. Salinity. In Sumner, M. E. (ed.) *Handbook of Soil Science*. CRC Press. Boca Raton. Florida.
- Kirkham, D. & Powers, W. L. 1972. *Advanced Soil Physics*. John Wiley and Sons. New York.
- Kirsch, S. W. 1993. A field test of a soil-based measure of evapotranspiration. *Soil Science* 156 (6):396-404.
- Klute, A. 1987. *Methods of soil analysis Part 1: physical and mineralogical methods*. Second edition. Arnold Klute (ed.). American Society of Agronomy, inc. Soil Sci. Society of America, inc. Publisher. Madison, Wisconsin.
- Knigh, J. H. 1992. The sensitivity of time domain reflectometry measurements to lateral variations in soil water content. *Water Resources Research* 28.
- Koo, R. C. J. 1963. Effect of frequency of irrigation on yield of orange and grapefruit. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 76:1-5.
- Kovka, V. A. & Szabolcs, I. 1979. Modelling of soil salinization and alkalization. *Agrokémia és. Talajtan, n° 28. Supplementum*.
- Kriedmann, P. E. & Barrs, H. D. 1981. Citrus orchards. In *Water Deficits and Plant Growth*. Kozlowski, T. T. (Ed.). Academic Press. pp. 325-417. New York.
- Lagerwerff, J. V. & Holland, J. P. 1960. Growth and mineral content of carrots and beans as related to varying osmotic and ionic-composition effects in saline-sodic sand cultures. *Agronomy Journal* 52:603-608.
- Laguna, E. 1998. Flora endémica, rara o amenazada de la Comunidad Valenciana. *Consellería de Medio Ambiente. Generalitat Valenciana*.
- Landeros-Sánchez, C.; Youngs, E. G.; Stephens, W.; Leeds-Harrison, P. B.; Palacios-Vélez, O. L.; Nikolskii-Gavrilov, I. & Carrillo-Ávila, E. 2001. Modelación del transporte de solutos originado por fluctuaciones del manto freático. *Proceedings XI Congreso Nacional de Irrigación. Simposio 10 Modelación Hidroagrícola*. Guanajuato, Mexico.
- Lapalla, E.G.; Healy, R.W.; & Weeks, E.P. 1987. Documentation of computer program VS2D to solve the equations of fluid flow in variably saturated porous media. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 83-4099, 184 p.
- Leij, F. J. & Van Genuchten, M. Th. 2000. Solute transport. In Sumner, M. E. (ed.) *Handbook of Soil Science*. CRC Press. Boca Raton. Florida.

8. Bibliografía

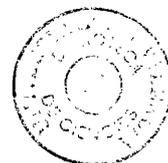
- Lesch, S. M.; Herrero, J. & Rhoades, J. D. 1998. Monitoring for temporal changes in soil salinity using electromagnetic induction techniques. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 62 (1). Madison. WI.
- Lesch, S. M.; Rhoades, J. D.; Lund, L.J. & Corwin, D. L. 1992. Mapping soil salinity using calibrated electromagnetic measurements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:540-548.
- Levy, G. L.; Eisenberg, H. & Shainberg I. 1993. Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. *Soil Science* 156 (1):15-22.
- Lidón, A.; Ramos, C. & Rodrigo, A. 1999. Comparison of drainage estimation methods in irrigated citrus orchards. *Irrig. Sci.*
- Lindsay, W. L. 1979. *Chemical equilibria in soils*. Wiley. New York.
- Liu, Ch. & Evett, J. B. 1984. *Soil properties Testing, measurement and evaluation*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- López, A. & Vidal, M. 2000. Efecto de la aplicación de soluciones cálcicas sobre la conductividad hidráulica y propiedades químicas del suelo. *Agrochimica* vol XLIV N. 1-2.
- López-Campuzano, M; Llona, M. C.; Faz, A. & Hernández-Húscar, J. M. 2002. Variability of soils and surfaces on alluvial fans in a semiarid catchment (Calasparra-Cieza Basin, southeast Spain). *International Symposium on Sustainable Use and Managements of Soils in Arid and Semiarid regions*. Murcia. Spain.
- Ma, L. & Selim, H.M. 1995. Transport of a nonreactive solute in soils: A two-flow domain approach. *Soil Science* 159 (1):224-234.
- Maas, E. V. & Hoffman, G. J. 1977. Crop salt tolerance - Current assessment. *J. Irrigation and Drainage Div. ASCE* 103(IR2): 115-134, Proc. Paper 12993.
- Maas, E. V. 1990. Crop salt tolerance. In Tanji, K. K. (Ed.), *Agricultural Salinity Assessment and Management*. Manual n° 71 ASCE. New York.
- Marion, J. M.; Or, D.; Rolston, D. E.; Kavvas, M. L. & Biggar, J. W. 1994. Evaluation of methods for determining soil water retentivity and unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Science* 158 (1):1-13.
- Marler, T. E. & Davies, F. S. 1990. Microsprinkler irrigation and growth of young "Hamlin" orange trees. *Journal of the American Society for Horticultural Sciences* 115:45-51.
- Martínez-Gamiño, M. A. & Walthall, P. M. 2000. Propiedades físicas, químicas y mineralógicas en el encostramiento de suelos de México y Lousiana, EU. *Terra* vol 18 n° 3.
- Martínez-Raya, A.; Fernández, J.; Aguilar, J. & Fernández, E. 1992. Fertirrigation-induced alinity in soils used in forced cropping. *Agrochimica*, vol XXXVI-N° 4-5.

- McNeal, B. L. 1970. Calculation of electrical conductivity from solution composition data as an aid to in-situ estimation of soil salinity. *Soil Science* 110:405-414.
- Monteith, J. L. 1981. Evaporation and surface temperature. *Quarterly J. Royal Meteor. Soc.* 107:1-27.
- Morell, I. 1985. Caracterización hidroquímica de la intrusión marina en la Plana de Oropesa-Torreblanca (provincia de Castellón). Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- Morell, I. 2001. La contaminación en el acuífero detrítico costero de la Plana de Castellón (España). Curso sobre contaminación de suelos y aguas subterráneas. Universidad Politécnica de Valencia. http://origen.dihma.upv.es/contamin/pdf/Ignacio_Morell.PDF. Valencia.
- Morell, I.; Giménez, E. & Esteller, M. V. 1988. Comportamiento iónico y procesos fisico-químicos en acuíferos detríticos costeros de los llanos de Oropesa, Castellón y Gandía (Comunidad Valenciana). *Hidrogeología* 3.
- Morell, I.; Padilla, F. & Alberto, J. M. 1996. Modelling of the chloride and nitrogen species in an experimental citrus crop. *Ecological Modelling* 87:235-247.
- Morell, I.; Medina, J.; Pulido-Bosch, A. & Fernández-Rubio, R. 1986. Caracterización de la intrusión marina en el acuífero costero de Oropesa-Torreblanca (prov. de Castellón). En base al estudio de relaciones iónicas. *Hidrogeología* 1:15-31.
- Moreno, F.; Cabrera, F.; Fernández-Boy, E.; Giron, I. F.; Fernández, J. E. & Bellido, B. 2001. Irrigation with saline water in the reclaimed marsh soil of South-West Spain: impact on soil properties and cotton and sugar beet crops. *Agric. Water Manage.*, 48:133-150.
- Munsell, A. H. 1923. A color notation. Munsell Color Company. Baltimore, M. D.
- Mwendera, E. J. & Feyen, J. 1993. Tillage and rainfall effects on infiltration and predictive applicability of infiltration equations. *Soil Science* 156 (3):20-27.
- Navarrete, P.; Fabregat, V. & López-Geta, J. A. 1988. Evolución y estado actual de la intrusión marina en el litoral de la provincia de Castellón. In *Tecnología de la intrusión de acuíferos costeros*. TIAC 88. Fernández-Rubio, R; López-Geta, J. A. & Ramos-González, G. (Ed.).
- Nikolskii-Gavrilov, I.; Palacios-Vélez, O. L. Y Bakhlaeva-Egorova, O. 2001. Sobre la profundidad del drenaje agrícola parcelario en la zona de riego. *Proceedings XI Congreso Nacional de Irrigación. Simposio 10 Modelación Hidroagrícola*. Guanajuato. México.
- Nimah, M. N. & Hanks, R. J. 1973. Model for estimation of soil water, plant, and atmospheric interrelations: I. Description and sensitivity. *Soil Sci. Amer. Proc.* 37:522-527.
- Nordstrom, D. K.; Plummer, L. N.; Wigley, T. M. L.; Wolery, T. J.; Ball, J. W.; Jenne, E. A.; Bassett, R. L.; Crerar, D. A.; Florence, T. M.; Fritz, B.; Hoffman, M.; Holdren, G. R.

8. Bibliografía

- JR.; Lafon, G. M.; Mattigod, S. V.; McDuff, R. E.; Morel, F.; Reddy, M.M.; 1979. A comparison of computerized chemical models for equilibrium calculations in aqueous systems: in *Chemical Modelling in aqueous systems, speciation, sorption, solubility, and kinetics*. Jenne, E. A. (ed.) Series 93 American Chemical Society pp. 857-892.
- Orihuela, D. L.; Palazón, J.; Gallardo, D.; González, E.; Romero, E. & Garrido, R. 1999. Niveles de humedad, tomada con sonda TDR, en una parcela experimental de Cartaya (Huelva). In *Estudios de la Zona no Saturada del suelo*. Eds. R. Muñoz-Carpena, A. Ritter, C. Tascón. ICIA. Tenerife.
- Oster, J. D. & Rhoades, J. D. 1990. Steady state root zone salt balance. In *Agricultural Salinity Assessment and Management Manual*. K. K. Tanji (Ed.) ASCE, pp. 469-481. New York.
- Oster, J. D. 1999. Use of marginal quality waters for irrigation. In *Irrigation management and saline conditions*. Ed. Dr. Nassim Al-Abed. Proceedings Regional Symposium Just. Irbid. Jordan.
- Ouyang, Y. & Boersma, L. 1992. Dynamic oxygen and carbon dioxide exchange between soil and atmosphere. I. Model development. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1695-1702.
- Palacios, M. P.; Pardo, A.; Del-Nero, E. & Rodríguez, F. 1999. Estudio comparativo de la solución extraída por pelos radicales, cápsulas cerámicas y el extracto saturado, en condiciones de laboratorio. In *Estudios de la Zona no Saturada del suelo*. Eds. R. Muñoz-Carpena, A. Ritter, C. Tascón. ICIA. Tenerife.
- Parker, J. C. & Van Genuchten, M. Th. 1984. Determining transport parameters from laboratory and field trace experiments. .
- Pearson, G.A. & Bernstein, L. 1958. Influence of exchangeable sodium on the yield and chemical composition of plants. II. Wheat, barley, oats, rice, tall fescue, and tall wheatgrass. *Soil Sci.* 86:254-261.
- Pepirol, E.; Batlle-Sales, J. & Bordás, V. 1998. Geostatistic study of salt distribution in "Laguna de Salinas" Alicante, Spain. *Proceedings of GeoENVII - Geostatistics for Environmental Applications*, 10. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- Pérez, R; Soriano, P. & Batlle-Sales, J. 1992. The natural vegetation of salt affected soils in the east of Spain. *Proceedings of the International Symposium on Strategies for Utilizing Salt Affected Lands*. Bangkok, Thailand.
- Perfect, E.; Sukop, M. C. & Haszler, G. R. 2002. Prediction of dispersivity for undisturbed soil columns from water retention parameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:696-701.
- Piper, A. M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Am. Geophys. Union Trans.* 25:914-923.

- Pizarro, F. 1985. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. 2ª edición. Ed. Agrícola Española, S. A. Madrid.
- Pomares, F. 1986. La salinidad del suelo en los cítricos. Generalitat Valenciana. Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentació. Valencia.
- Porta, J.; López-Acevedo, M. & Roquero, C. 1999. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. 2ª ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Pratt, P. F.; Lund, L. J. & Rible, J. M. 1978. An approach to measuring leaching of nitrate from freely drained irrigated fields. In Nitrogen in the environment, Vol 1. D. R. Nielsen and J. G. Mac Donald (eds). Academic Press pp. 223-256. New York.
- Radcliffe, D. E. & Rasmussen, T. C. 2000. Soil water movement. In Sumner, M. E. (ed.) Handbook of Soil Science. CRC Press. Boca Raton. Florida.
- Ramos, C. & Kücke, M. 1999. Revisión crítica de medida de la lixiviación de nitrato en suelos agrícolas. In Estudios de la Zona no Saturada del suelo. Eds. R. Muñoz-Carpena, A. Ritter, C. Tascón. ICIA. Tenerife.
- Ramos, C. 1988. The use of the chloride balance method for estimatin nitrate leaching. In Nitrogen efficiency in agricultural soils. D. S. Jenkinson and K. A. Smith (eds). Elsevier Appl Sci, pp 256-268. London.
- Rawls, W. J. & Brakensiek, D. L. 1985. Agricultural manegement effects on soil water retention. In: DeCoursey, d. G. (ed.). Proceedings of the 1983 Natural Resources Modelling Symposium. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Reseach Service, ARS-30.
- Rhoades, J. D. & Corwin, D. L. 1981. Determining soil electrical conductivity depth relations using an inductive electromagnetic soil conductivity meter. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:255-260.
- Rhoades, J. D. & Ingvalson, R. D. 1971. Determining salinity in field soils with soil resistance measurement. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 35:54-60.
- Rhoades, J. D. & Merrill, S. D. 1976. Assessing the suitability of water for irrigation: teoretical and empirical approaches. FAO Soils Bulletin 31:69-109.
- Rhoades, J. D. & Oster, J. D. 1986. Solute content. In A. Klute, editor. Methods of soil analisys. Part 1. 2nd edition. Agronomy Monograph 9. American Society of Agronomy and Sil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Rhoades, J. D. 1972. Quality of water for irrigation. Soil Science 113:277-284.
- Rhoades, J. D. 1977. Potential for using saline agricultural drainage waters for irrigation. Proceedings Water Management for Irrigation and Drainage. ASCE 177:85-116. Nevada.



8. Bibliografía

- Rhoades, J. D. 1978. Monitoring soil salinity: A review of methods. In Establishment of water quality monitoring programs. Proc. Annual Symposium, American Water Resources Assoc. Bethesda, MD.
- Rhoades, J. D. 1982. Reclamation and management of salt-affected soils after drainage. Proceedings First Annual Western Provincial Conf. Rationalization of Water and Soil Resources and Management. pp. 123-197. Alberta, Canada.
- Rhoades, J. D. 1982. Soluble salts in methods of soil analysis. Part 2. Am. Soc. Agron. Monogr. N°9. Madison. WI.
- Rhoades, J. D. 1984. Using saline water for irrigation. In Scientific Review on Arid Zone Research Vol 2:233-264. Proceedings Internal Workshop on Salt Affected Soils of Latin America. Maracay, Venezuela.
- Rhoades, J. D. 1987. Use of saline water for irrigation. Water Quality Bulletin 12:14-20.
- Rhoades, J. D. 1988. Evidence of the potential use of saline water for irrigation. Proceedings Symposium Reuse of Low Quality Water for Irrigation. R. Bouchet (Ed.) Water Research Centre. pp. 133-146. Egypt.
- Rhoades, J. D. 1990. Determining soil salinity from measurements of electrical conductivity. Communications in Soil Science and Plant Analysis 21 (13-16):1887-1926.
- Rhoades, J. D. 1992. Instrumental field methods of salinity appraisal. In Advances in Measurement of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice. Soil Sci. Society of America. Special Publication n° 30. Madison, Wisconsin.
- Rhoades, J. D. 1993. Electrical Conductivity Methods for Measuring and Mapping Soil Salinity. Advances in Agronomy 49.
- Rhoades, J. D.; Kandiah, A. & Mashali, A. M. 1992. The use of saline water for crop production. FAO Irrigation and Drainage Paper 48. Rome. Italia.
- Rhoades, J. D.; Lesch, S. M.; LeMert, R. D. & Alves, W. J. 1997. Assessing irrigation / drainage / salinity management using spatially referenced salinity measurements. Agricultural Water Management 35:147-165.
- Robbins, C. W.; Jurinak, J. J. & Wagenet, R. J. 1980. Calculating cation exchange in a salt transport model. Soil Sci. Soc. Amer. J. 44:1195-1199.
- Rogers, J. S. & Bartholic, J. F. 1976. Estimated evapotranspiration and irrigation requirements for citrus. Proceedings of the Soil and Crop Science Society of Florida 35:111-117.
- Rogers, J. S.; Selim, H. M. & Fouss, J. L. 1995. Comparison of drainage under steady rainfall versus falling water table conditions. Soil Science 160 (1):391-399.

- Ross, P. J. 1990. Efficient numerical methods for infiltration using Richards' Equation. *Water Resources Research* 26:279-290.
- Roth, R. L.; Rodney, D. R. & Gardner, B. R. 1974. Comparison of irrigation methods, rootstocks and fertilizer elements on "Valencia" orange trees. *Proceedings of the Second International Drip Irrigation Congress* 2:103-108.
- Sánchez-Pérez, J. M.; Laurent, J. P.; Bohy, M.; Auzet, A. V. & Thony, J. L. 1999. Evaluación de un nuevo método de caracterización del perfil hídrico del suelo a partir de la inversión de una sola señal TDR. In *Estudios de la Zona no Saturada del suelo*. Eds. R. Muñoz-Carpena, A. Ritter, C. Tascón. ICIA. Tenerife.
- Saunt, J. 1990. *Citrus varieties of the world*. Sinclair International. UK.
- Saxton, K. E.; Rawls, W. J.; Romberger, J. S. & Papendick, R. I. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.* 50(4):1031-1036.
- Scanlon, B. R.; Paine, J. G. & Goldsmith, R. S. 1999. Evaluation of electromagnetic induction as a reconnaissance technique to characterize unsaturated flow in an arid setting. *Ground water* 37 (2):296-304.
- Schaap M. G. & Leij F. J. 1998. Databased-related accuracy and uncertainty of pedotransfer functions. *Soil Science* 16:213-234.
- Schmidhalter, U.; Selim, H.M. & Oertli, J. J. 1994. Measuring and modeling root water uptake based on chloride discrimination in a silt loam soil affected by groundwater. *Soil Science* 158 (1):97-105.
- Schön, J. H. 1996. *Physical properties of rocks*. Pergamon.
- Scott, H. D. 2000. *Soil Physics Agricultural and environmental applications*. Iowa State University Press.
- Selim, H. M. & Ma, L. 1998. *Physical nonequilibrium in soils: modelling and application*. H. Magdy Selim and Liwang Ma (Ed.).
- Setiawan, B. I. & Nakano, M. 1993. On the determination of unsaturated hydraulic conductivity from soil moisture profiles and from water retention curves. *Soil Science* 156 (6):389-395.
- Sharma, D. P.; Singh, K. N.; Rao, K. V. G. K. & Kumbhare, P. S. 1994. Conjunctive use of saline and non-saline irrigation waters in semi-arid regions. *Irrig. Sci.* 15:25-33.
- Sheets, K. R. & Hendrickx J. M. H. 1995. Noninvasive soil water content measurement using electromagnetic induction. *Water Resources Restoration* 31 (10):2401-2409.

8. Bibliografía

Shouse, P. J.; Rusell, W. B.; Burden, D.S.; Selim, H.M; Sisson, J.B. Van Genuchten, M. Th. 1995. Spatial variability of soil water retention functions in a silt loam soil. *Soil Science* 159 (1):1-12.

Simunek, J. & Suárez, D. L. 1993. Modelling of carbon dioxide transport and production in soil: 1. Model development. *Water Resources Research* 29(2):487-497.

Simunek, J. & Suárez, D. L. 1993b. The UNSATCHEM-2D code for simulating two dimensional variably saturated water flow, heat transport, carbon dioxide production and transport, and multicomponent solute transport with major ion equilibrium and kinetic chemistry. Version 1.1. Research Report N° 128. U. S. Salinity Laboratory USDA. ARS. Riverside, California.

Simunek, J. & Van Genuchten, M. Th. 1994. The CHAIN_2D Code for Simulating Two-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Porous Media. Version 1.1. Research Report No. 136. U. S. Salinity Laboratory, USDA, ARS. Riverside. California.

Simunek, J.; Šejna, M. & van Genuchten, M. Th. 1999. The HYDRUS-2D software package for simulating two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media. Version 2.0, IGWMC - TPS - 53, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines. Golden, Colorado.

Simunek, J.; Šejna, M. & van Genuchten M. Th. 1998. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Version 2.0, IGWMC - TPS - 70, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines. Golden, Colorado.

Simunek, J.; Vogel, T. & Van Genuchten, M. Th. 1992. The SWMS-2D code for simulating water flow and solute transport in two-dimensional variably saturated media. Version 1.1 Research Report n° 126. U. S. Salinity Laboratory. USDA. ARS. Riverside. California.

Singer, M. J. 1992. Water penetration problems in California Soils. Prevention, diagnoses and solutions. Kearney Foundation of Soil Science. Division of Agriculture and Natural Resources. University of California.

Skarie, Rl. L.; Arndt, J. L. & Richardson, J. L. 1987. Estimation and determination of sulfate and gypsum in saline soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:901-905.

Slavich, P. G. & Yang, J. 1990. Estimation on field scale leaching rates from chloride mass balance and electromagnetic induction measurements. *Irrig. Sci.* 11:7-14.

Smalstrla, A. G. & Koo, R. C. J. 1984. Effects of trickle irrigation methods and amounts of water applied on citrus yields. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 97:3-7.

- Smalstrla, A. G.; Parsons, L. R.; Aribi, K. & Velledis, G. 1985. Responses of young citrus trees to irrigation. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 98:25-28.
- Snoeyink, V. L. & Jenkins, D. 1987. *Química del agua*. Ed. Limusa. México.
- Snow, V. O.; Bond, W. J.; Myers, B. J.; Theiveyanathan, S.; Smith, C. J. & Benyon, R. G. 1999. Modelling the water balance of effluent-irrigated trees. *Agric. Water Manag.* 39:47-67.
- Soil Taxonomy. 1998. *Soil Taxonomy*. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service.
- Sparks, D. L. 1998. *Soil physical chemistry*. Donald L. Sparks (Ed.). CRC Press. New York.
- Spósito, G. 1989. The soil solution. In *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press, Inc. New York.
- Spurlock, F. 2000. Effect of irrigation scheduling on movement of pesticides to ground water in coarse soils: Monte Carlo analysis of simulation modeling State of California. Environmental Protection Agency. Department of Pesticide Regulation. Environmental Monitoring and Pest Management Branch. Environmental Hazards Assesment Program. 95814-3510.EH 00-01. Sacramento. California.
- Suárez, D. L. & Dudley, L. M. 1997. Hydrochemical considerations in modeling water quality within the vadose zone. In L. Dudley & J. Guitjens (eds.) *Agroecosystems and the environment: sources, control and remediation of potentially toxic, trace elements oxyanions*. Am. Asso. For the Advancement of Science-Pacific Division pp 113-136. San Francisco.
- Suárez, D. L. & Simunek, J. 1997. UTSATCHEM: Unsaturated water and solute transport model with equilibrium and kinetic chemistry. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 61 (6). Madison. WI.
- Suárez, D. L. 1977. Ion activity products of calcium carbonate in waters below the rootzone. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41:310-315.
- Summer, M. E: & Stewart, B. A. 1992. *Soil crusting: chemical and physical process*. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.
- Swingle, W. T. & Reece, P. C. 1967. The botany of citrus and its wild relatives. In *The Citrus Industry*. Reuther, W.; Batchelor L. D. & Webber, H. J. (Eds). University of California Press. pp. 190-340. California.
- Szabolcs, I. 1976. Prognosis of salinity and alkalinity. 9-15 *FAO Soils Bulletin* 31. Rome.
- Szabolcs, I. 1979. Review of research on salt-affected soils. *Natural Resources Research*, XV. UNESCO. París.

8. Bibliografía

Tanji, K. K. & Biggar, J. W. 1972. Specific conductance model for natural waters and soil solutions of limited salinity levels. *Water Resources Research*, 8:145-153.

Tanji, K. K. & Hanson, B.R. 1990. Drainage and return flows in relation to irrigation management. In B. A. Stewart and D. R. Nielsen (ed.). *Irrigation of agricultural crops*. Agron. Monogr. 30. ASA, CSSA, and SSSA. Madison, WI.

Tanji, K. K. & Yaron, B. 1994. Management of use in agriculture. *Advances Series in Agricultural Sciences* n° 22. Springer-Verlag. Berlin. Germany.

Thomasson, & Carter. 1989. Current and future uses of the UK soil water retention dataset. In: *Proceedings of an International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*. M. Th. van Genuchten; I. J. Leij; L.J. Lund (Eds.). University of California. Riverside.

Tillotson, W. R.; Robins, C. W.; Wagenet, R. J. & Hanks, R. J. 1980. Soil water, solute, and plant growth simulation. *Bulletin* 502. Utah State Agr. Exp. Stn. Logan, Utah.

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

Touloukian, Y. S. 1980. *Physical properties of rocks and minerals*. Y. S. Touloukian (Ed.) McGraw-Hill / Cindas.

Tuñón, J.; Morell, I. & Ferriols, N. S. 1999. Observaciones prácticas sobre el cálculo del balance de agua en el suelo. In *Estudios de la Zona no Saturada del suelo*. Eds. R. Muñoz-Carpena, A. Ritter, C. Tascón. ICIA. Tenerife.

U. S. Salinity Laboratory Staff. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Handbook N° 60. USDA. U. S. Dept. of Agriculture. Washington, DC.

U.S.D.A. 1973. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. USDA Agric. Handb. N° 60. Edición en español Ed. Limusa. México.

USDA-SCS. 1972. *National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology*. USDA, NRCS. Washington.

Van Genuchten, M. Th. & Cleary, R. W. 1979. Movement of solutes in soil: computer-simulated and laboratory results. In *Soil Chemistry: B. Physioco-Chemical models* (ed. G. H. Bolt) Elsevier Publishing Company. Amsterdam.

Van Genuchten, M. Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:892-898.

Van Genuchten, M. Th. 1981. *Non-Equilibrium Solute Transport Parameters from Miscible Displacement Experiments*. Version 1.0. Research Report No. 119, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS. Riverside, California.

Van Genuchten, M.Th. 1987. A numerical model for water and solute movement in and below the root zone. Research Rep. 121. USDA-ARS, U.S. Salinity Laboratory, Riverside, California, USA.

Van Genuchten, Th. & Wierenga, P. 1986. Solute dispersion coefficients and retardation factors. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis Part 1. Physical and mineralogical methods*. Soil Science Society of America.

Van Reeuwijk, L. P. 1992. *Procedures for soil analysis*. Third edition L. P. Van Reeuwijk, (ed.). International Soil Reference and Information Centre. Wageningen. The Netherlands.

Vargas, G. E. & Rodríguez-Rodríguez, A. 2001. Modelización de la distribución de sales en un suelo con cultivo de tomates bajo riego localizado. In *Temas de Investigación en Zona no Saturada*. Eds. J. J. López M. Quemada.

Vieira, R. S.; Reynolds, W. D.; De Jong, R.; Topp, G. C. & Clemente, R. 1997. Mapping groundwater pollution risk within an agricultural watershed using modeling geostatistics and GIS. *Proceedings of the International Conference on Geo-Information for Sustainable Land Management (SLM)*. Enschede. The Netherlands.

Villamán, R.; Tijerina, L.; Quevedo, A. & Crespo, G. 2001. Comparación de algunos métodos micrometeorológicos para estimar la evapotranspiración, en el área de Montecillo, Mexico. *Terra* vol 19 n° 3:281-291.

Von Hippel, A. 1995. *Dialectrics and waves*. Artech House. Boston.

Wagenet, R. J. & Hutson, J. L. 1986. Predicting the fate of nonvolatile pesticides in the unsaturated zone. *Journal Environmental Quality* 15:315-322.

Wagenet, R. J. 1983. Principles of salt movement in soils. In: *Chemical Mobility and Reactivity in Soil Systems*. (eds. D. W. Nelson et al) SSSA Special Publ. N° 11 Amer. Soc. Agron. Madison, WI.

Wagenet, R. J. 1986. Water and solute flux. In *Methods of soil analysis Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2nd ed. A. Klute (ed). Soil Sci. Soc. Am. pp. 1055-1088. Madison, WI.

Walker, G. R.; Jolly, I. D. & Cook, P. G. 1991. A new chloride leaching approach to the simulation of diffuse recharge following a change in land use. *J. Hydrol.* 128:49-67.

Watermark Computing. 2002. *PEST - Model Independent Parameter Estimation*. .

Wilcox, D. A. & Davies, F. S. 1981. Temperature-dependent and diurnal root conductivities in two citrus rootstocks. *HortScience* 16:303-305.

Wilcox, L. V. 1948. The quality of water irrigation. U. S. Dept. of Agric. Tech. Bull. N° 962:1-40.

8. Bibliografia

- Williams, J. R. 1991. Runoff and water erosion. Chap 18, Modelling Plant and Soil Systems, Agronomy 31. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Williams, R. D. & Ahuja, L. R. 1993. Using available water content with the one-parameter model to estimate soil water retention. *Soil Science* 156 (6):380-388.
- Xu, M. & Eckstein, Y. 1997. Statistical analysis of the relationships between dispersivity and other physical properties of porous media. *Hydrogeology Journal* vol 5 n° 4.
- Yadav, B. R.; Rao, N. H.; Paliwal, K. V. & Sarma, P. B. S. 1979. Comparison of different methods for measuring soil salinity under field conditions. *Soil Science* 127:335-339.
- Yamaguchi, T.; Moldrup, P.; Rolston, D. E. & Petersen, L. W. 1994. A semianalytical solution for one-dimensional solute transport in soils. *Soil Science* 158 (1):14-21.
- Zegelin, S. J.; White, I & Rusell, G. F. 1992. A critique of the time domain reflectometry technique for determining field soil-water content. In *Advances in Measurement of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice*. Soil Sci. Society of America. Special Publication n° 30. Madison, Wisconsin.
- Zhang, R. 1995. Prediction of solute transport using a transfer function model and the convection-dispersion equation. *Soil Science* 160 (1):18-27.
- Zhuang, J.; Nakayama, K.; Yu, G. R. & Miyazaki, T. 2001. Predicting unsaturated hydraulic conductivity of soil based on some basic soil properties. *Soil & Tillage Research* 59:143-154.

ANEXO I

FOTOGRAFÍAS DE LOS DISPOSITIVOS DE MONITORIZACIÓN



Foto 1. Dispositivos de monitorización: tubo TDR (fibra de vidrio), muestreo capa freática (tubo PVC), muestreo solución de suelo (rizon sampler), tensiómetros y muestreo de gases)



Foto 2. Dispositivos de monitorización (detalle del tensiómetro)

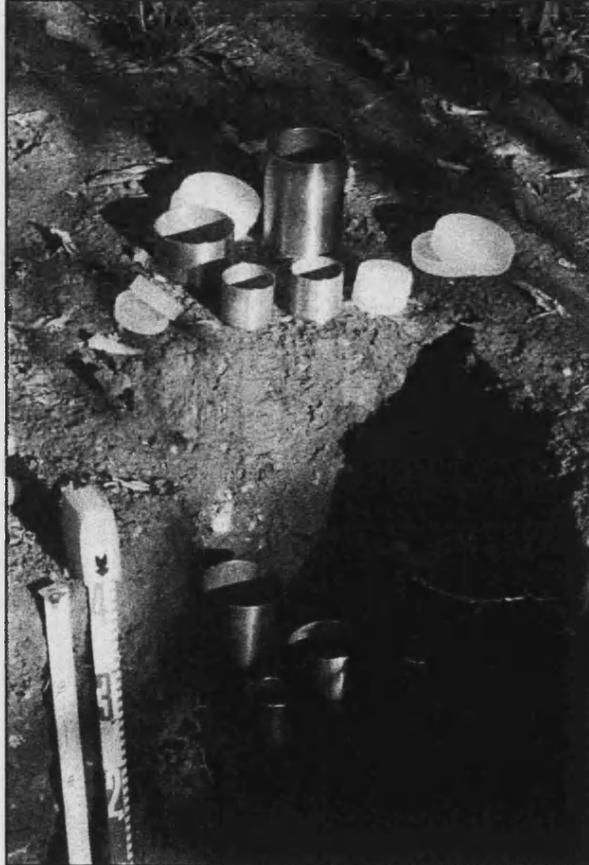


Foto 3. Toma de muestras inalteradas en cada horizonte con cilindros de varios tamaños

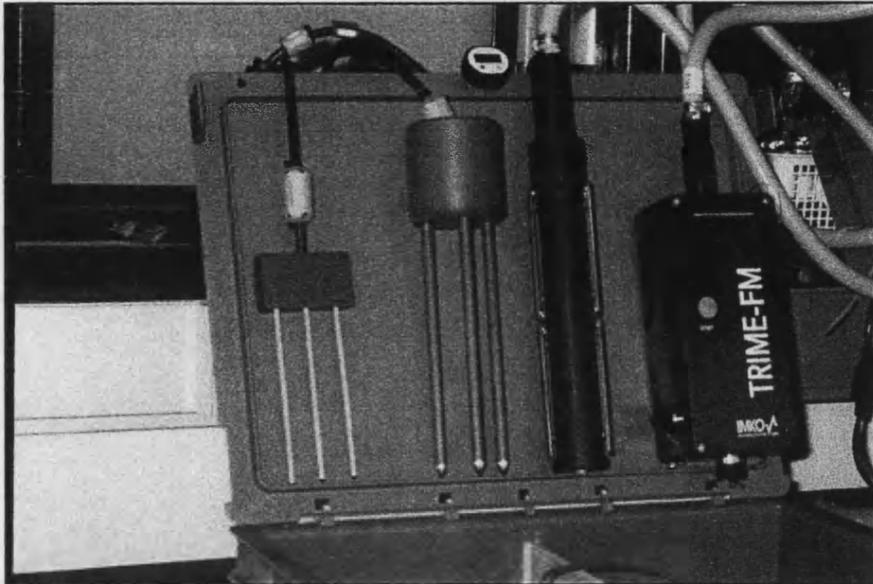


Foto 4. Sondas TDR

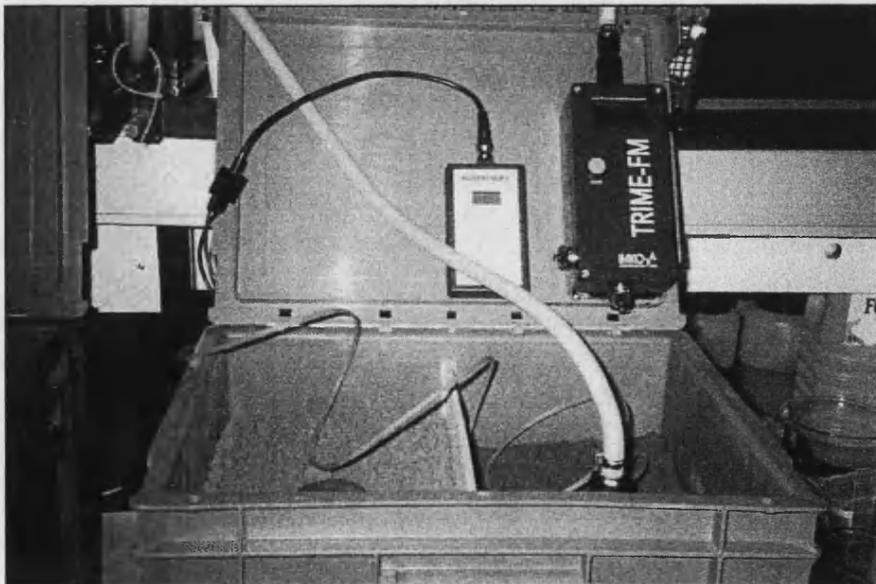


Foto 5. Caja de calibración de la sonda TDR

FOTOGRAFÍAS DE LA SITUACIÓN DE LOS CAMPOS DE TORREBLANCA EN LA ACTUALIDAD (AÑO 2003)



Foto 6. Mapa geológico de la zona de estudio (Torreblanca)



Foto 7. Distribución del riego por goteo



Foto 8. Distribución del riego por goteo



Foto 9. Sustitución de árboles muertos por nuevos plantones



Foto 10. Prácticas agrícolas inadecuadas (quema de restos de la poda)



Foto 11. Distribución de las raíces en cítricos



Foto 12. Distribución de las raíces en cítricos



Foto 13. Campo PRIII. Replantación e instalación del sistema de riego por goteo debido a la elevada salinidad del suelo.

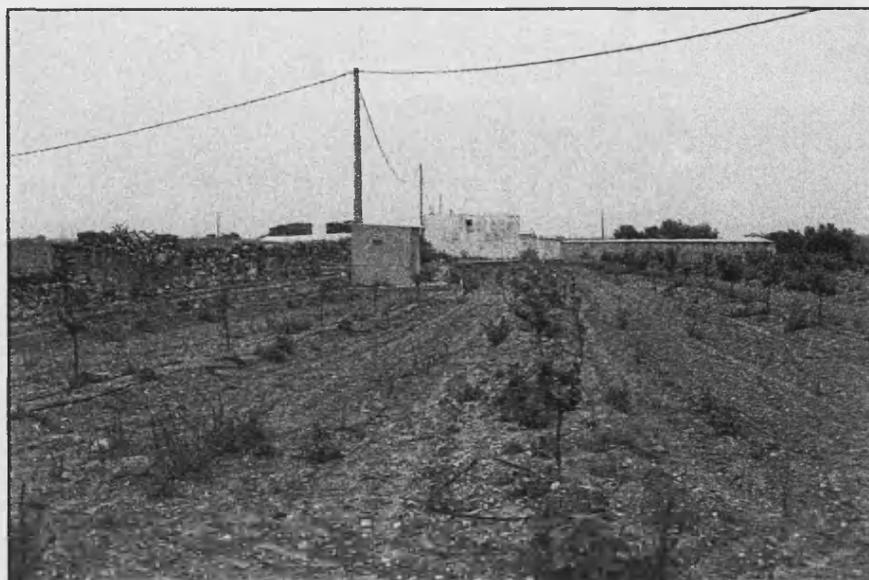


Foto 14. Campo PRIII. Gestión inadecuada



Foto 15. Perfil PRIII. Gestión inadecuada, se aprecia una costra pelicular en la superficie



Foto 16. Campo junto PRIII. Se aprecia la eliminación de vegetación y la incorporación de fertilizante orgánico

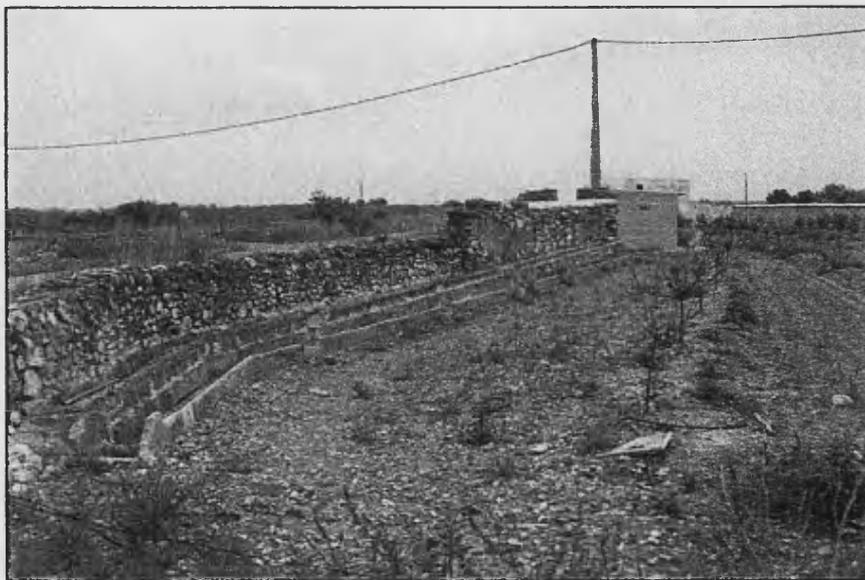


Foto 17. Campo PRIII. Al fondo se observa el pozo de riego y a la izquierda el canal de agua utilizado en el riego por inundación



Foto 18. Gestión adecuada. Eliminación de vegetación y correcta instalación del riego por goteo sobre los caballones

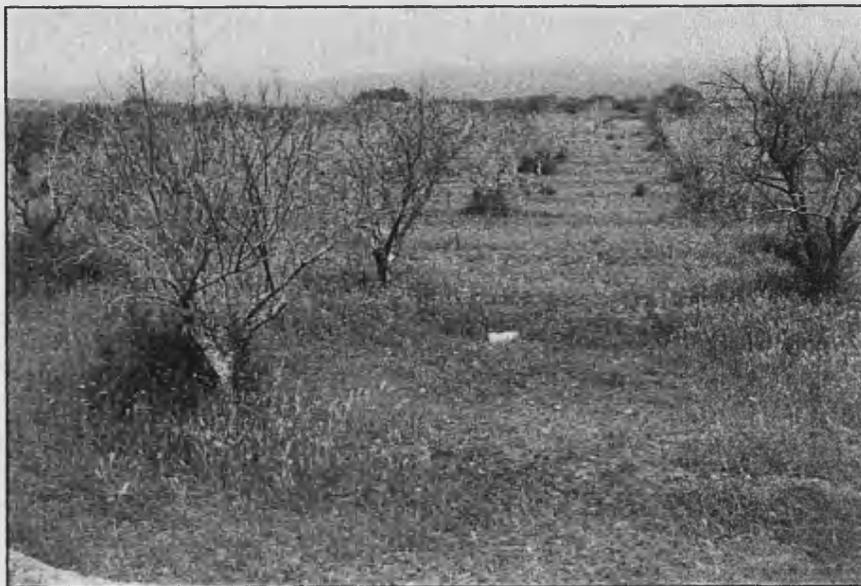


Foto 19. Abandono de cultivos



Foto 20. Campo PRII. Replantación e instalación de riego por goteo

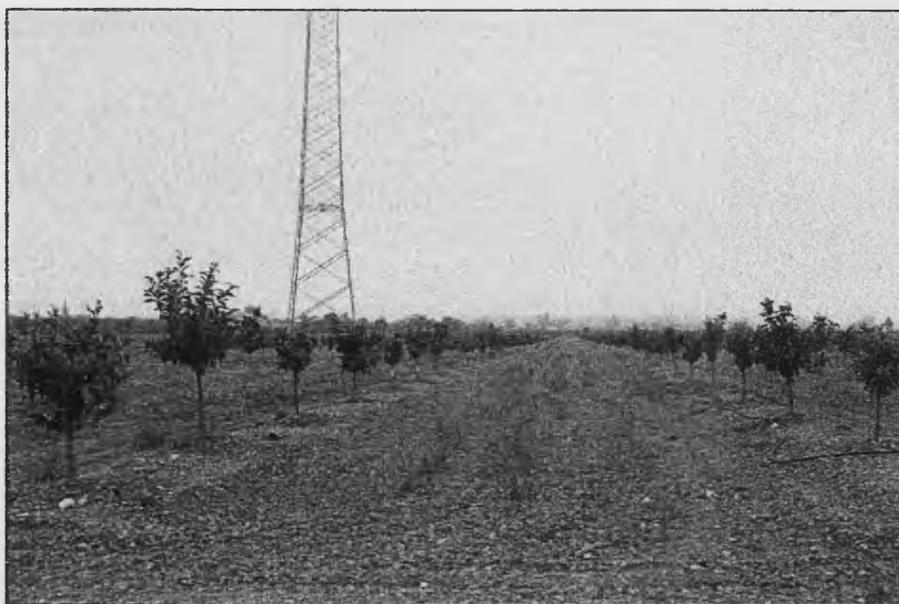


Foto 21. Campo PRIV. Replantación e instalación de riego por goteo



Foto 22. Campo junto PRIV. Gestión adecuada



Foto 23. Campo PRI. Los árboles muestran un aspecto excelente. La calidad de agua utilizada es $CE < 1$ dS/m y presenta buen drenaje

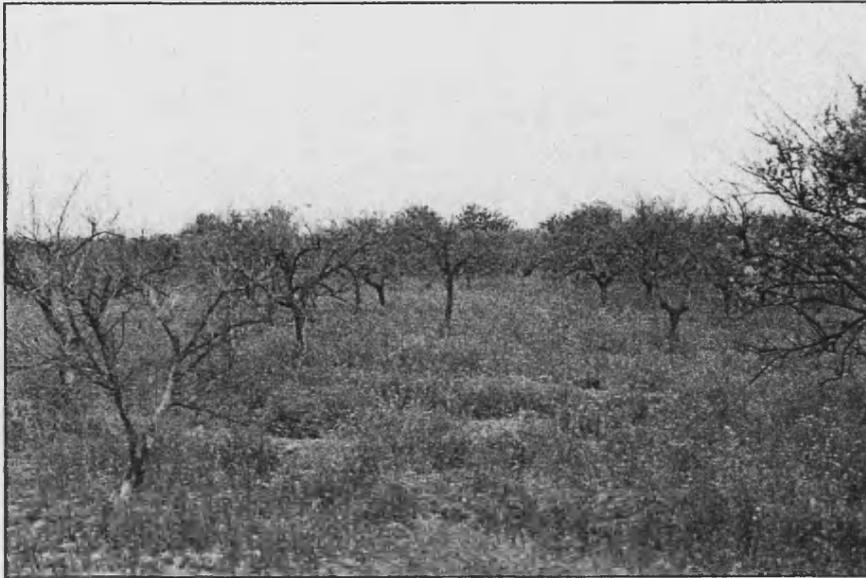


Foto 24. Campo PRV. Los árboles se encuentran en mal estado debido a la elevada salinidad y a una gestión inadecuada



Foto 25. Campo PRV. Al fondo se observa la instalación de la estación meteorológica

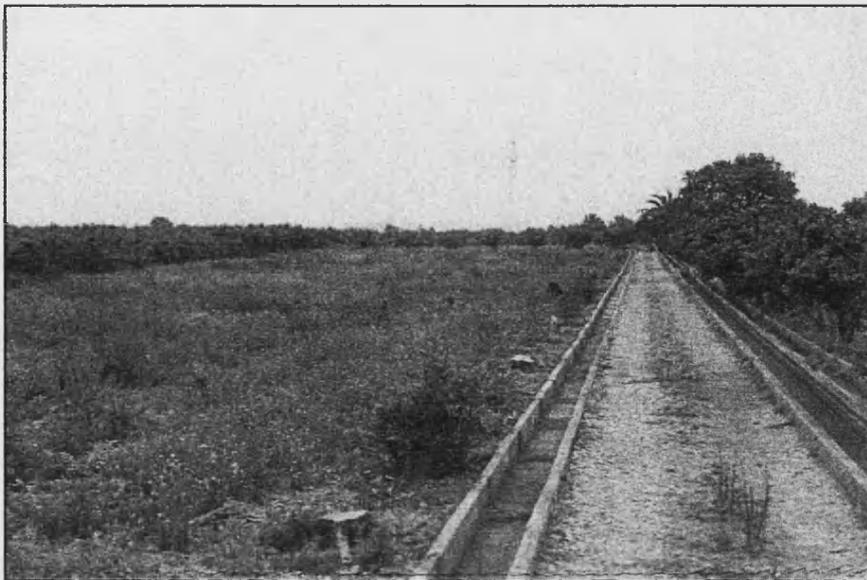


Foto 26. Campo PRVI. Los árboles han sido cortados para realizar una replantación

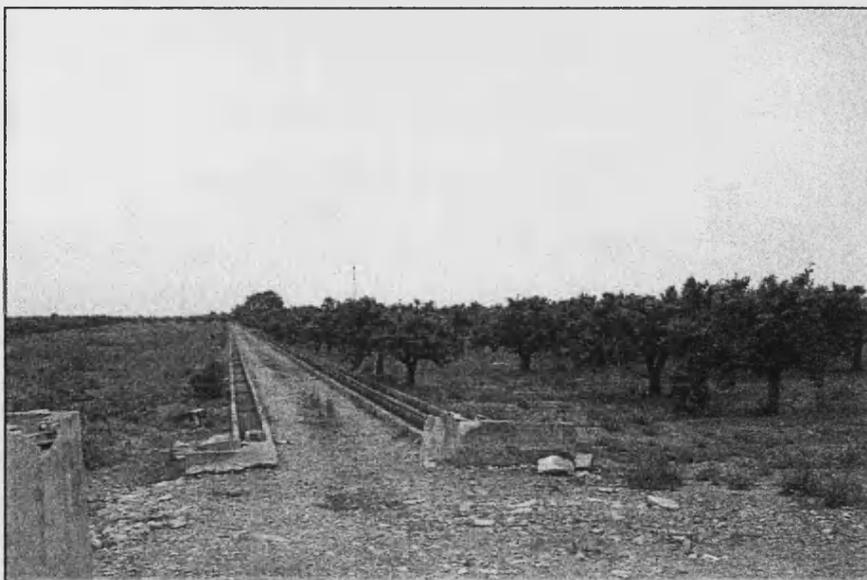


Foto 27. El campo de la derecha (junto PRVI) muestra un buen aspecto debido a una gestión adecuada

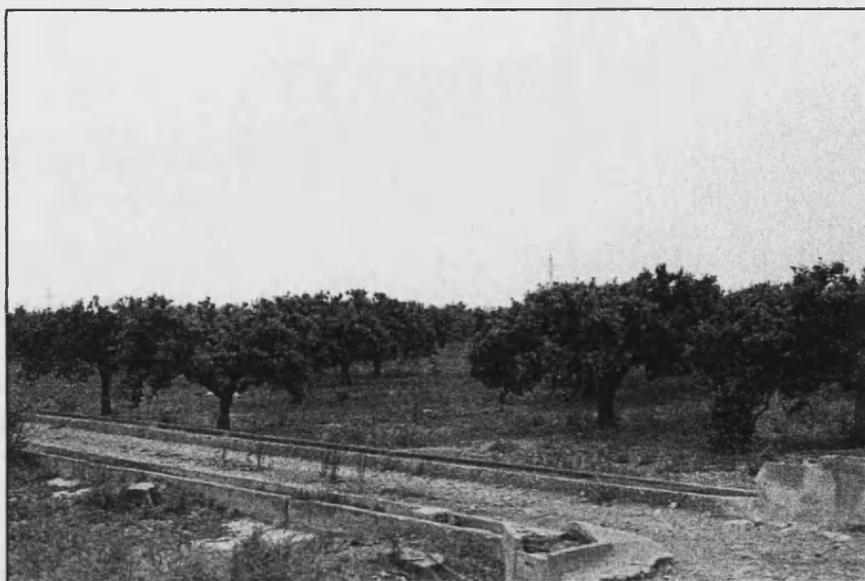


Foto 28. Campo junto a PRVI con árboles adultos en buen estado



Foto 29. Vista frontal del campo PRVI. Se observa que los campos limítrofes tienen mejor aspecto que el campo PRVI



Foto 30. Campo frente PRVI presenta una inadecuada gestión, los árboles tienen un aspecto poco vigoroso y clorótico

ANEXO II

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación de modelos según el tipo de conocimiento (Hoosbeek et al., 2000)

Tabla 2.2. Modelos numéricos

Tabla 2.3. Ejemplo de fichero de entrada

Tabla 2.4. Modelos de retención (Hutson & Wagenet, 1992)

Tabla 2.5. Ecuaciones de regresión (según modelo de retención)

Tabla 2.6. Comparación de la rutinas Calfc, Watflo y Solc

Tabla 2.7. Especies químicas consideradas por la rutina Chem

Tabla 4.1. Monitorización del perfil: dispositivos

Tabla 4.2. Fechas y parámetros monitorizados

Tabla 5.1. Fecha, localización y descripción: Perfil I

Tabla 5.2. Fecha, localización y descripción: Perfil II

Tabla 5.3. Fecha, localización y descripción: Perfil III

Tabla 5.4. Fecha, localización y descripción: Perfil IV

Tabla 5.5. Fecha, localización y descripción: Perfil V

Tabla 5.6. Fecha, localización y descripción: Perfil VI

Tabla 5.7. Fecha, localización y descripción: Perfil VII

Tabla 5.8. Datos físicos, químicos y fisicoquímicos: Perfil I

Tabla 5.9. Datos físicos, químicos y fisicoquímicos: Perfil II

Tabla 5.10. Datos físicos, químicos y fisicoquímicos: Perfil III

Tabla 5.11. Datos físicos, químicos y fisicoquímicos: Perfil IV

Tabla 5.12. Datos físicos, químicos y fisicoquímicos: Perfil V

Tabla 5.13. Datos físicos, químicos y fisicoquímicos: Perfil VI

Tabla 5.14. Datos físicos, químicos y fisicoquímicos: Perfil VII

Tabla 5.15. Datos monitorizados

Tabla 5.16. Datos de humedad obtenidos con TDR (v/v)

Tabla 5.17. Datos de potencial matricial (-kPa)

Tabla 5.18. Observaciones de la capa freática PRV

Tabla 5.19. CEe (extracto de saturación)

Tabla 5.20. RASe (extracto de saturación)

Tabla 5.21. CO₂ (gases de suelo)

Tabla 5.22. Composición química de las aguas de Torreblanca

Tabla 6.1. Parámetros calibrados en el modelo

Tabla 6.2. Curvas de retención calculadas con las ecuaciones de Saxton et al., 1986

Tabla 6.3. Resultados RETFIT horizonte PRH001 (Perfil I)

Tabla 6.4. Resultados RETFIT horizonte PRH002 (Perfil I)

Tabla 6.5. Resultados RETFIT horizonte PRH003 (Perfil I)

Tabla 6.6. Resultados RETFIT horizonte PRH005 (Perfil II)

Tabla 6.7. Resultados RETFIT horizonte PRH006 (Perfil II)

Tabla 6.8. Resultados RETFIT horizonte PRH007 (Perfil II)

Tabla 6.9. Resultados RETFIT horizonte PRH008 (Perfil II)

Tabla 6.10. Resultados RETFIT horizonte PRH010 (Perfil III)

Tabla 6.11. Resultados RETFIT horizonte PRH011 (Perfil III)

Tabla 6.12. Resultados RETFIT horizonte PRH012 (Perfil III)

Tabla 6.13. Resultados RETFIT horizonte PRH014 (Perfil IV)

Tabla 6.14. Resultados RETFIT horizonte PRH015 (Perfil IV)

Tabla 6.15. Resultados RETFIT horizonte PRH017 (Perfil V)

Tabla 6.16. Resultados RETFIT horizonte PRH020 (Perfil VI)

Tabla 6.17. Resultados RETFIT horizonte PRH021 (Perfil VI)

Tabla 6.18. Resultados RETFIT horizonte PRH023 (Perfil VII)

Tabla 6.19. Parámetros calibrados

Tabla 6.20. Theta: índices estadísticos PRI

Tabla 6.21. Theta: índices estadísticos PRII

Tabla 6.22. Theta: índices estadísticos PRIII

Tabla 6.23. Theta: índices estadísticos PRIV

Tabla 6.24. Theta: índices estadísticos PRV

Tabla 6.25. Theta: índices estadísticos PRVI

Tabla 6.26. Theta: índices estadísticos PRVII

Tabla 6.27. Índices estadísticos CEe PRI

Tabla 6.28. Índices estadísticos CEe PRII

Tabla 6.29. Índices estadísticos CEe PRIII

Tabla 6.30. Índices estadísticos CEe PRIV

Tabla 6.31. Índices estadísticos CEe PRV

Tabla 6.32. Índices estadísticos CEe PRVI

- Tabla 6.33. Índices estadísticos CEe PRVII
- Tabla 6.34. Índices estadísticos RASe PRI
- Tabla 6.35. Índices estadísticos RASe PRII
- Tabla 6.36. Índices estadísticos RASe PRIII
- Tabla 6.37. Índices estadísticos RASe PRIV
- Tabla 6.38. Índices estadísticos RASe PRV
- Tabla 6.39. Índices estadísticos RASe PRVI
- Tabla 6.40. Índices estadísticos RASe PRVII
- Tabla 6.41. Composición de las mezclas de agua (riego + lluvia)
- Tabla 6.42. Fracción de drenaje mínima según tablas de tolerancia de cultivo, toxicidad por cloruros y riesgo del suelo en riego convencional y riego por goteo
- Tabla 6.43. Escenarios ejecutados con el programa CROPWAT
- Tabla 6.44. Esquema de riego A
- Tabla 6.45. Esquema de riego B
- Tabla 6.46. Escenarios ejecutados con el modelo LEACHM
- Tabla 6.47. Volumen de riego y fracción de drenaje para cada diseño de riego (PRI)
- Tabla 6.48. Volumen de riego y fracción de drenaje para cada diseño de riego (PRII)
- Tabla 6.49. Volumen de riego y fracción de drenaje para cada diseño de riego (PRIII)
- Tabla 6.50. Volumen de riego y fracción de drenaje para cada diseño de riego (PRIV)
- Tabla 6.51. Volumen de riego y fracción de drenaje para cada diseño de riego (PRV)
- Tabla 6.52. Volumen de riego y fracción de drenaje para cada diseño de riego (PRVI)
- Tabla 6.53. Volumen de riego y fracción de drenaje para cada diseño de riego (PRVII)

RELACIÓN DE FIGURAS

- Figura 2.1. Clasificación de modelos basada en escala de jerarquía y grado de complejidad (Bouma, 1997)
- Figura 2.2. Discretización del suelo para el procedimiento de cálculo de los modelos diferenciales (Batlle-Sales & Hurtado, 2002)
- Figura 2.3. Esquema de la propagación de errores en los modelos
- Figura 2.4. Esquema de los componentes principales y rutina descritas en LEACHM
- Figura 2.5. Esquema de organización del programa LEACHC
- Figura 2.6. Curvas de cobertura (Childs, 1975) y densidad relativa de las raíces (Tillotson et al., 1980)
- Figura 2.7. Patrón de evapotranspiración potencial diaria definida en la rutina Etrans (Hutson, 2001)
- Figura 2.8. Relación entre la precipitación y la escorrentía
- Figura 2.9. Procesos químicos simulados en el LEACHC
- Figura 2.10. Dispersión longitudinal y lateral y flujo del agua a través del espacio poroso (Drever, 1997)
- Figura 2.11. Influencia de la dirección del flujo de agua sobre la concentración de solutos
- Figura 3.1. Localización del área de estudio (Batlle-Sales, 2001)
- Figura 3.2. Diseño de muestreo en Torreblanca (Batlle-Sales et al., 2002)
- Figura 3.3. Modelo digital de Torreblanca (Batlle-Sales et al., 2002)
- Figura 3.4. Clasificación de las aguas de Torreblanca según el diagrama de Piper (Batlle-Sales et al., 2002)
- Figura 3.5. Clasificación de las agua de Torreblanca según el diagrama de Wilcox (Batlle-Sales et al., 2002)
- Figura 3.6. Relación entre Cl^-/CE y Cl^-/Na^+ (Batlle-Sales et al., 2002)
- Figura 4.1. Localización de los perfiles seleccionados. Todos ellos con cultivo de cítrico
- Figura 4.2. Procedimiento de calibración de la TDR con columnas experimentales
- Figura 4.3. Volumen de medida efectiva TDR (IMKO, 1996)
- Figura 4.4. Segmentos de la curva de humedad
- Figura 4.5. Procedimiento del análisis de escenarios (Batlle-Sales & Hurtado, 2002)
- Figura 5.1. Perfil PRI
- Figura 5.2. Localización perfil PRI

Figura 5.3. Perfil PRI

Figura 5.4. Perfil PRIII

Figura 5.5. Localización perfil PRIV

Figura 5.6. Canal de riego

Figura 5.7. Perfil PRV

Figura 5.8. Perfil PRVI

Figura 5.9. Localización perfil PRVII

Figura 5.10. Perfil PRVII

Figura 5.11. Comparación entre el contenido de arcilla en los horizontes calculado a partir de la fracción fina (arcilla) y a partir del total del suelo (arcilla corregida)

Figura 5.12. Relación entre la fracción gruesa y la fracción de arcilla corregida

Figura 5.13. Texturas de los perfiles de Torreblanca

Figura 5.14. Radiación solar diaria

Figura 5.15. Temperatura máxima y mínima diaria del aire

Figura 5.16. Humedad máxima y mínima del aire

Figura 5.17. Velocidad diaria del viento a una altura de 2 m

Figura 5.18. ETo semanal calculada por los métodos de Penman-Monteith y Hargreaves Samani

Figura 5.19. ETo mensual calculada por los métodos de Penman-Monteith y Hargreaves Samani

Figura 5.20. Balance semanal de agua en el suelo comprendido entre enero de 1999 hasta febrero de 2000

Figura 5.21. Balance mensual de agua en el suelo comprendido entre enero de 1999 hasta febrero de 2000

Figuras 6.1-6.32. Curvas de humedad

Figuras 6.33-6.34. Calibración sonda TDR

Figuras 6.35-6.69. Validación modelo LEACHM: Theta

Figuras 6.70-6.96. Validación modelo LEACHM: ECE

Figuras 6.97-116. Validación modelo LEACHM: SARE

Figura 6.117-6.170. Distribución de la salinidad, la sodicidad y los cloruros en la zona radicular para cada fracción de agua y drenaje

Figuras 6.171-6.206. Curvas de riesgos de salinidad, sodicidad y toxicidad por cloruros

Figuras 6.207-6.208. Fracción mínima de drenaje para cada agua admitiendo pérdida de cosecha en riego convencional y goteo (W_R)

- Figuras 6.209-6.210. Fracción mínima de drenaje para cada agua admitiendo pérdida de cosecha en riego convencional y goteo (W_70R)
- Figuras 6.211-6.212. Fracción mínima de drenaje para cada agua admitiendo pérdida de cosecha en riego convencional y goteo (W_60R)
- Figuras 6.213-6.214. Fracción mínima de drenaje para cada agua y mezclas sin pérdida de cosecha en riego convencional y riego por goteo
- Figura 6.215. Requerimientos hídricos del cultivo de cítricos
- Figura 6.216. Diseño de riego T0 (gestión de riego llevada a cabo en los campos experimentales de Torreblanca)
- Figura 6.217. Diseño de riego A0 (sin drenaje)
- Figura 6.218. Diseño de riego B0 (sin drenaje)
- Figuras 6.219-6.230. Predicciones a 5 años perfil PRI riego convencional (Diseño riego A0)
- Figuras 6.231-6.242. Predicciones a 5 años perfil PRI riego convencional (Diseño riego T0)
- Figuras 6.243-6.254. Predicciones a 5 años perfil PRI riego convencional (Diseño riego R0)
- Figuras 6.255-6.266. Predicciones a 5 años perfil PRI riego convencional (Diseño riego G0)
- Figuras 6.267-6.278. Predicciones a 5 años perfil PRII riego convencional (Diseño riego A0)
- Figuras 6.279-6.290. Predicciones a 5 años perfil PRII riego convencional (Diseño riego T0)
- Figuras 6.291-6.302. Predicciones a 5 años perfil PRII riego convencional (Diseño riego R0)
- Figuras 6.303-6.314. Predicciones a 5 años perfil PRII riego convencional (Diseño riego G0)
- Figuras 6.315-6.326. Predicciones a 5 años perfil PRIII riego convencional (Diseño riego A0)
- Figuras 6.327-6.338. Predicciones a 5 años perfil PRIII riego convencional (Diseño riego T0)
- Figuras 6.339-6.350. Predicciones a 5 años perfil PRIII riego convencional (Diseño riego R0)
- Figuras 6.351-6.362. Predicciones a 5 años perfil PRIII riego convencional (Diseño riego G0)
- Figuras 6.363-6.374. Predicciones a 5 años perfil PRIV riego convencional (Diseño riego A0)
- Figuras 6.375-6.386. Predicciones a 5 años perfil PRIV riego convencional (Diseño riego T0)

- Figuras 6.387-6.398. Predicciones a 5 años perfil PRIV riego convencional (Diseño riego R0)
- Figuras 6.399-6.410. Predicciones a 5 años perfil PRIV riego convencional (Diseño riego G0)
- Figuras 6.411-6.422. Predicciones a 5 años perfil PRV riego convencional (Diseño riego A0)
- Figuras 6.423-6.434. Predicciones a 5 años perfil PRV riego convencional (Diseño riego T0)
- Figuras 6.435-6.446. Predicciones a 5 años perfil PRV riego convencional (Diseño riego R0)
- Figuras 6.447-6.458. Predicciones a 5 años perfil PRV riego convencional (Diseño riego G0)
- Figuras 6.459-6.470. Predicciones a 5 años perfil PRVI riego convencional (Diseño riego A0)
- Figuras 6.471-6.482. Predicciones a 5 años perfil PRVI riego convencional (Diseño riego T0)
- Figuras 6.483-6.494. Predicciones a 5 años perfil PRVI riego convencional (Diseño riego R0)
- Figuras 6.495-6.506. Predicciones a 5 años perfil PRVI riego convencional (Diseño riego G0)
- Figuras 6.507-6.518. Predicciones a 5 años perfil PRVII riego convencional (Diseño riego A0)
- Figuras 6.519-6.530. Predicciones a 5 años perfil PRVII riego convencional (Diseño riego T0)
- Figuras 6.531-6.542. Predicciones a 5 años perfil PRVII riego convencional (Diseño riego R0)
- Figuras 6.543-6.554. Predicciones a 5 años perfil PRVII riego convencional (Diseño riego G0)
- Figuras 6.555-6.561. Cloruros en la fracción de lixiviado
- Figuras 6.562-6.575. Predicciones a 5 años mezclas W2-W3
- Figuras 6.576-6.589. Predicciones a 5 años mezclas W3-W4

< Hay un camino ante ti, y es tu vocación; los dioses te esperan >

< ¡Adelante! ¡Adelante! ¡Es tu vocación! >

“Siddharta se inclinó, levantó una piedra del suelo y la sopesó en la mano.

— Esto — declaró mientras jugaba —, es una piedra, y dentro de un tiempo quizá sea polvo de la tierra, y de la tierra pasará a ser una planta, o animal o un ser humano. En otro tiempo hubiera dicho: << Esta piedra sólo es piedra, no tiene valor, pertenece al mundo de Maja; pero como en el circuito de las transformaciones también puede llegar a ser un ente humano y un espíritu, por ello le doy valor >>. Así quizá hubiera pensado antes. Pero ahora razono: esta piedra es una piedra, también un animal, también un dios, también un buda; no la venero ni amo porque algún día pueda llegar a ser esto o lo otro, sino porque todo esto lo es desde hace tiempo, desde siempre. Y, precisamente, esto que ahora se me presenta como una piedra, que ahora y hoy veo que es una piedra, justamente por ello la amo y le doy un valor y un sentido en cada una de sus líneas y huecos, en el amarillo, en el gris, en la dureza, en el sonido que produce cuando la golpeo, en la sequedad o humedad de su superficie.

> Hay piedras que al tocarlas parecen aceite o jabón, y otras semejan hojas o arena, y cada una es diferente y roza el *Om* a su manera; cada una es Brahma, pero a la vez es una piedra, está grasienta o jabonosa y precisamente esto es lo que me gusta y me parece maravilloso y digno de adoración.

> Pero no me hagas hablar más sobre todo ello. Las palabras no son buenas para el sentido secreto; en cuanto se pronuncia algo ya cambia un poquito, se lo falsifica..., sí, y también esto es muy bueno y me gusta asimismo, estoy muy de acuerdo que lo que es tesoro y sabiduría de una persona, parezca a otra una locura.

Govinda escuchaba en silencio.

— ¿Por qué me has dicho lo de la piedra? — preguntó vacilante, tras una pausa.

— Lo dije con intención. O quizá he querido declarar que amo precisamente a la piedra y al río, a esas cosas que contemplamos y de las que podemos aprender.”

Fragmento de “Siddharta”, Hermann Hesse (Premio Nobel, 1946)

Valencia, Mayo de 2003