

MANEJO DE SUELOS EN CONDICIONES DE ESCASEZ DE AGUA

GONZALO CRUZ ROMERO
Universidad Politécnica de Valencia

INTRODUCCIÓN

A pesar de encontrarnos en un país en donde la producción agrícola está limitada por la escasez de agua, ha habido poco interés por los estudios sobre la conservación del agua. Aparte de los estudios pioneros de Cascón en la Granja de Palencia, antes de la guerra, la índole de los trabajos que se recogen en unas jornadas técnicas celebradas más de medio siglo después (Junta de Andalucía, 1990) ilustran la precariedad de los datos propios.

Aunque cuestiones de sanidad vegetal -semillas, plagas y enfermedades-, de residuos o de posible competencia de áreas próximas preocupen al horticultor almeriense, ningún problema como el de la escasez de agua arroja más fragilidad a la subsistencia de la agricultura intensiva del litoral.

BALANCE DEL AGUA

Relativamente pocos principios sustentan las prácticas agrícolas que aseguran un uso eficiente del agua. Una máxima proporción del agua que llega al suelo debe ser gastada en transpiración, con pérdidas mínimas en evaporación, escorrentía y drenaje (fig.1).

Se considera éste como un prisma rectangular de base unidad y altura igual a la profundidad máxima de enraizamiento (l). Los volúmenes de agua se expresan como las alturas de las láminas correspondientes: Los subíndices \underline{s} y \underline{e} se refieren respectivamente a salidas y entradas de agua en el volumen considerado.

$$\Delta A = \text{Entradas} - \text{Salidas} = R + P - E - T - D - S \quad (1)$$

$$\text{En invernadero: } P = S = 0$$

$$\text{Realizando el balance entre la siembra de dos cultivos consecutivos } \Delta A = 0$$

(1) se puede reescribir como : $R = E+T+D$ (2)

En las condiciones indicadas el ahorro de agua consistirá en minimizar E y D

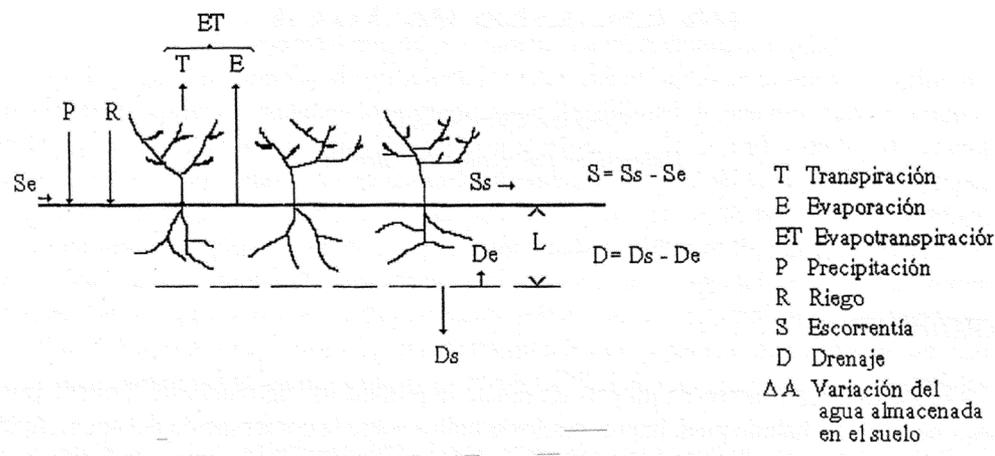


Fig. 1. Balance de agua en el suelo

En gran parte de los regadíos del mundo la eficiencia de utilización del agua en la finca suele ser sorprendentemente baja. En los E.E.U.U. se citan cifras de eficiencia, expresada como porcentaje de la que se pierde como evapotranspiración respecto a la derivada para riego del 30% (van Schilfgaard y Rawlins, 1983). La eficiencia global puede ser mayor, ya que las pérdidas como escorrentía o drenaje pueden ser reutilizadas.

Ahora bien, aunque el agua que llega a la finca sea utilizada con la máxima eficiencia posible, puede ser que no sea bien manejada globalmente en el distrito de riego o comunidad de regantes. Cuando se está en primera línea de producción agrícola, como en el litoral almeriense, y significa primera línea tanto literal como figuradamente, y se usa agua subterránea, próxima a la interfase agua salada-dulce, para el riego, con un mal manejo integral, puede dejar de ser agua dulce. Aunque la naturaleza actúe como tampón, amortiguando los cambios continuos, una detracción superior a la recarga (Pulido et al, 1991) conducirá a un agua progresivamente más escasa, más cara y de peor calidad. Conforme los recursos hídricos en calidad y cantidad disminuyan, se requerirán mayores volúmenes de agua para mantener la productividad agrícola. Existe pues un mecanismo de retroalimentación negativa que conducirá a mayores bombeos y progresivo deterioro de la calidad y encarecimiento.

El régimen de precipitación en estos tres últimos años ha cambiado en Almería en sentido inverso al del resto de la España semiárida (fig. 2: año 1994). Además, la reciente regulación del río Darrical en Benimar es capaz de aportar directamente unos 16 Hm³ adicionales para el riego. Ninguna de estas circunstancias despeja el problema más grave que, como ya se ha señalado, debe resolverse para asegurar el futuro de la horticultura del litoral.

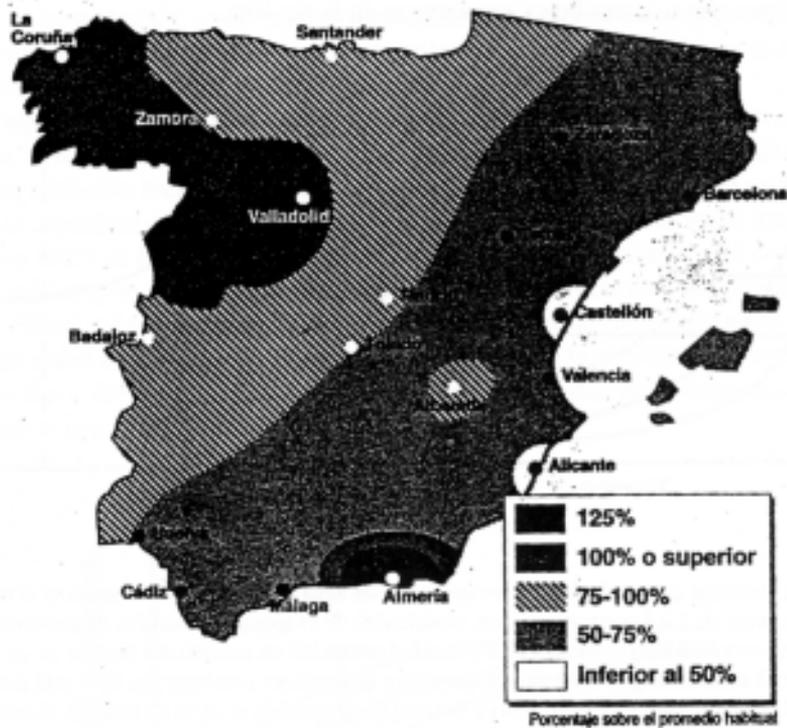


Fig. 2. Desviaciones porcentuales de las precipitaciones en 1994 sobre las medias en España (Diario Levante, 10-II-95)

EL AGUA A PIE DE PARCELA

El agua que llega al suelo puede perderse por escorrentía, evaporación, transpiración y drenaje. En las condiciones de la agricultura bajo plástico de Almería, es evidente que la única agua que llega al suelo es la de riego, que las pérdidas por escorrentía son nulas y que las pérdidas por evaporación se minimizan.

EVAPORACIÓN

La fig. 3(a) muestra la velocidad de evaporación de agua a partir de un suelo que se ha humedecido por riego o lluvia en función del tiempo transcurrido desde su humedecimiento, supuesta una demanda evaporativa constante para cada curva y creciente de 1 a 4. En cuales-

quiera de las situaciones climáticas diferentes representadas por cada curva, se pueden distinguir las *tres fases* que se describen y representan en la fig 3(b).

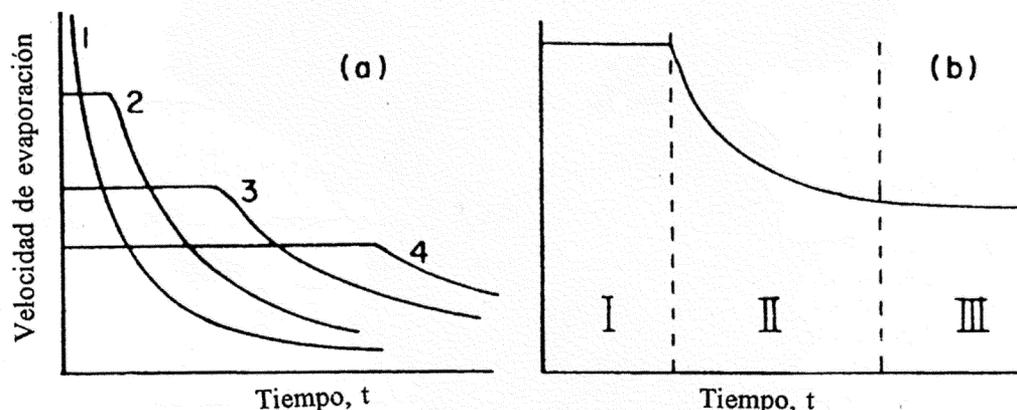


Fig. 3 (a) Relación entre velocidad de evaporación de agua (E) de un suelo desnudo y el tiempo.

(Las curvas de 1 a 4 representan, por, velocidades de evaporación iniciales decrecientes).

(b) Velocidad de evaporación (velocidad real/velocidad potencial) en función del tiempo. Se distinguen tres fases: en I, E está controlada por la energía disponible y se mantiene constante; en II, E está controlada por la capacidad del suelo para transmitir agua y decrece en proporción inversa a \sqrt{t} ; en III, E decrece muy lentamente linealmente con el tiempo, dependiendo de los gradientes de temperatura en el suelo responsables del transporte de vapor de agua (Kolasev, 1941 citado por Lemon, 1956)

En la fig. 4 se representa la evaporación acumulada en función del tiempo, bajo las demandas evaporativas crecientes de la fig. 3(a). Se observa que cuando el suelo se seca, la velocidad de evaporación es mínima (fig. 3 b: fase III). Una forma de disminuir las pérdidas por evaporación es reducir la superficie del suelo que se humedece (riego localizado). Este ahorro es apreciable hasta que exista cubierta total del suelo por el cultivo.

Otras opciones, no incompatibles con la anterior, son hacer tratamientos que, o bien disminuyan la energía disponible en la superficie del suelo para la evaporación y/o los gradientes de vapor de agua por encima de la superficie, o bien reduzcan la capacidad del suelo para transmitir agua. Esta última opción está representada por la curva C de la fig. 5. La reducción observada, al cabo de cierto tiempo de haberse humedecido el suelo, se produce por la menor velocidad de evaporación del agua en la fase II del proceso (fig. 3 b) en la que aquella está limitada por la capacidad del suelo para transmitir agua cuando el suelo superficial se ha secado. La otra opción, en la que disminuye la energía disponible o los gradientes de presión de vapor sobre la superficie del suelo, está representada por la curva B de la fig.5 y ocurre en la fase I del proceso. Esta opción se produce naturalmente cuando el cultivo cubre toda la superficie del suelo. Las diferencias entre ambas opciones y el control (curva A de la fig.5) se repre-

sentan en la fig.6. Como en la superficie de los suelos mojados por métodos de riego de alta frecuencia, la humedad del suelo se mantiene en las condiciones evaporativas de la fase I, se comprende que la opción más eficaz para reducir la evaporación consistirá en tratamientos que reduzcan la energía disponible.

Hasta aquí se han presentado condiciones para el flujo de agua en el suelo en régimen no permanente, es decir, con humedad en el perfil del suelo que decrece monótonicamente con el tiempo. Una situación bien diferente, que puede presentarse cuando existe un nivel freático próximo a la superficie del suelo, es la evaporación con humedad en el suelo invariable con el tiempo y, por tanto, el flujo de agua desde la capa freática a la superficie del suelo se produce en régimen permanente. Los datos de la tabla I ilustran la influencia de la profundidad de la capa freática, la textura del suelo y la estratificación en las velocidades de evaporación. Aunque bajo una situación como la descrita, con el nivel freático próximo a la superficie, no interese al ahorro de agua, los datos destacan la drástica reducción de la velocidad de evaporación que produce la arena o una capa de arena, respecto a texturas más finas.

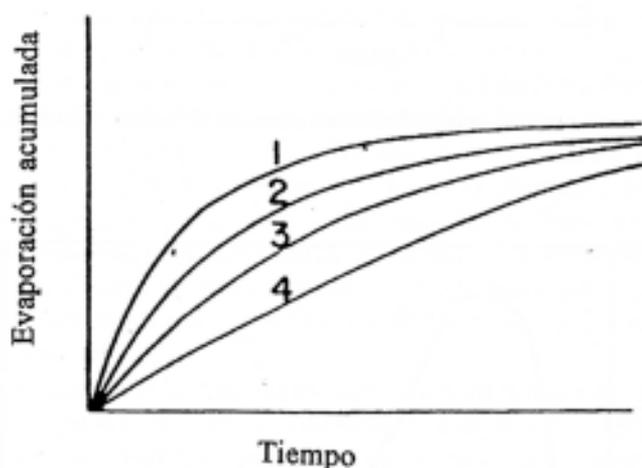


Fig. 4. Relación entre evaporación acumulada y el tiempo
(las curvas 1 a 4 corresponden a velocidades de evaporación iniciales decrecientes)

TABLA 1. Comparación de las velocidades de evaporación (mm/día) a partir de perfiles uniformes y estratificados de arena y loess con el nivel freático a dos profundidades.

Prof. capa freática (cm)	Arena uniforme	Loess uniforme	Arena (15cm) sobre loess	Loess (15cm) sobre arena
120	0.2	8	0.3	1.7
70	2	20	1.7	7.5

(Hillel et al., 1968)

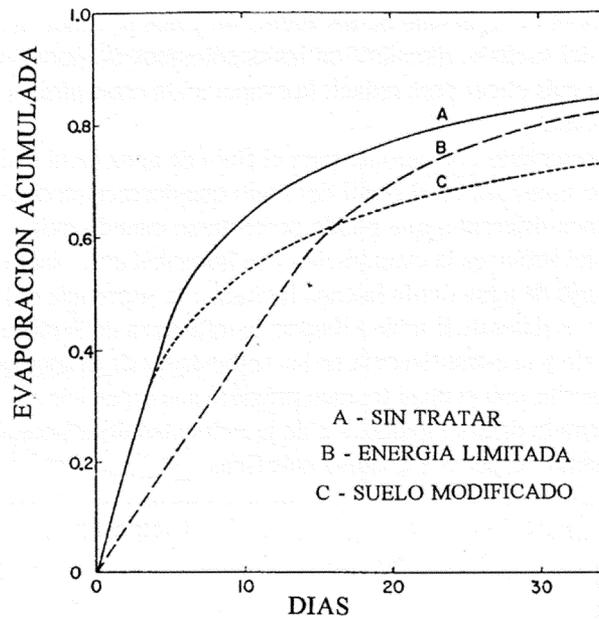


Fig. 5. Fracción hipotética de pérdida de agua según los tratamientos (Gardner, 1983)

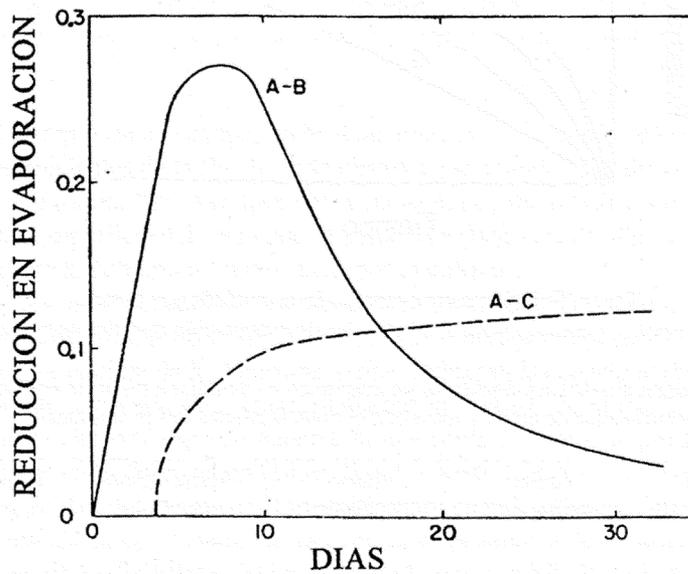


Fig. 6. Reducción de la evaporación causada por condiciones de energía limitante (B) o por modificación del suelo (C). (Gardner, 1983)

CUBIERTA O MULCH

Bajo este epígrafe van describirse los tratamientos ejemplificados en la opción B de la fig.5 (limitación de energía en la superficie del suelo o disminución de gradientes de vapor de agua por encima de ella).

Los tratamientos consisten en poner cubiertas naturales (orgánicas -vivas o muertas-, minerales) o artificiales (plástico, papel) sobre la superficie del suelo. Estas cubiertas no sólo modifican la energía disponible sino también el flujo de calor y, consiguientemente, el balance de energía: el régimen térmico de los suelos se modifica.

Los romanos colocaban piedras y los chinos aún colocan cantos rodados sobre la superficie del suelo para conservar el agua (Jacks et al., 1955). En el siglo XVIII varias erupciones volcánicas en Lanzarote cubrieron algunos campos de cultivo de cenizas volcánicas. En los campos cubiertos con estas cenizas las plantas vegetaron mejor como consecuencia de la mejor conservación del agua en el suelo, por reducción de la evaporación, respecto a los suelos que no habían sido afectados por las erupciones (Anónimo, 1974). Smith (1962), trabajando en la región semiárida del oeste de Australia, demostró que una capa de arena de 5 cm sobre la superficie del suelo fue efectiva tanto para aumentar el lavado descendente de sales durante las lluvias de invierno (aumento de la infiltración) como para reducir la evaporación y el consiguiente ascenso de sales en verano. Fairbourn (1973) obtuvo, en una región de precipitación media anual de 250 a 450 mm, rendimientos de maíz y sorgo con cubierta de grava (1.8 cm de diámetro y 2.5 a 3.8 cm de espesor) significativamente mayores respecto a los obtenidos en el suelo control desnudo o con cubierta de residuos de maíz (13.5 tm/ha de residuos), debido a las menores pérdidas de agua por evaporación del suelo con grava y a la mayor temperatura del suelo respecto al control. Los años secos, los rendimientos obtenidos con capa de grava podían ser de tres o cuatro veces superiores a las obtenidas en el suelo sin cubierta. Ya que las propiedades hidráulicas de la arena o grava son relativamente estables, estas cubiertas ofrecen un efecto más permanente que el producido por el laboreo superficial.

En la fig.7 se representa la evaporación acumulada en función del tiempo de una lámina libre de agua, de un suelo desnudo y del mismo suelo con cubierta de paja. El efecto de la cubierta, que reduce drásticamente las pendientes de las curvas a partir del humedecimiento del suelo, se atenúa a tiempos largos, para desaparecer cuando el proceso de evaporación se encuentra en la fase III definida anteriormente.

LABOREO

Una de las cuestiones más debatidas en la agricultura de secano es el papel de la labranza para la conservación del agua del suelo. Las labores de escarificado para eliminar malas hierbas o para tapar grietas en suelos algo o muy expansibles (Gavrilov, 1961) indudablemente ahorran agua. Sin embargo, el laboreo después de la lluvia para crear una cubierta de suelo suelta que no conduzca agua no es siempre una práctica efectiva, ya que una mayor parte del agua se pierde antes de que se pueda labrar (Emerson et al., 1978). Sin embargo, se ha demostrado que

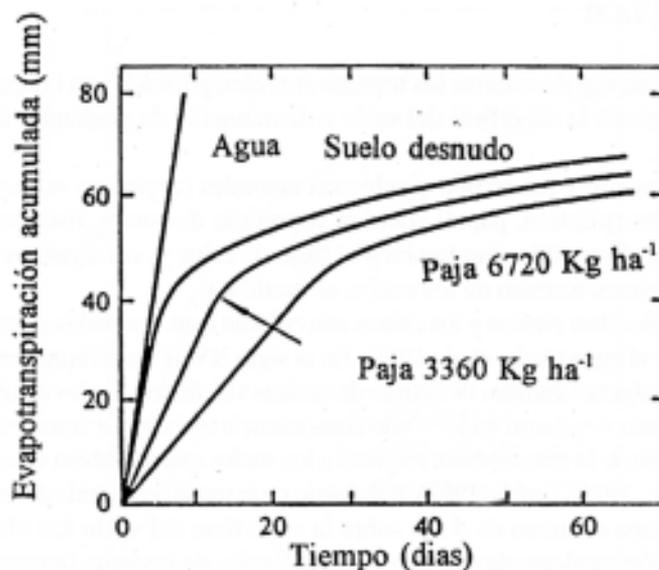


Fig. 7. Efecto de la cubierta de paja sobre la evaporación de agua del suelo

las pérdidas de agua por evaporación en condiciones advectivas son mayores en un suelo no labrado o con terrones de gran tamaño que cuando el suelo está cubierto por una capa de agregados en el rango de unos 2 ó 3 mm de diámetro (Holmes et al., 1960). En las figuras 8 y 9 se presentan las evaporaciones acumuladas después de los períodos indicados bajo dos demandas evaporativas diferentes, en columnas de suelo con cubiertas de agregados de espesores y tamaños variables (Hillel, 1968). En condiciones de muy alta demanda evaporativa es preferible tener agregados de menor tamaño (0.125 - 0.25 mm de diámetro) para disminuir las pérdidas por evaporación (fig. 9). Probablemente, ello es debido a la mayor penetración en el suelo de corrientes turbulentas de aire en las mayores cavidades de los agregados de diámetro superior al rango indicado. También se observa (fig.8) que existe un espesor idóneo de 3 cm de la capa de agregados, mucho más prominente en condiciones de alta demanda evaporativa. En las condiciones de la demanda evaporativa más baja, el espesor de la capa superficial que minimiza la evaporación puede ser cualesquiera entre 3 y 12 cm.

Para obtener algún beneficio del efecto de la estructura en el control de la evaporación, Hadas (1975) propone que la superficie del suelo debe ser trabajada, para promover el estado estructural deseado, antes de que el suelo se humedezca. Tal vez sólo cuando lluvias intensas hayan destruido la estructura del suelo superficial (formación de costra y fisurado de la costra) puede estar justificada la labranza después de una lluvia. Pappy (1988) elabora un detallado protocolo para decidir el tiempo al que puede interesar el laboreo después de una lluvia en función de las unidades morfológicas de la capa superficial. Los aspectos más técnicos del laboreo mínimo, el no cultivo y otras prácticas de labranza para la conservación del suelo y del agua han sido tratados por Unger (1988).

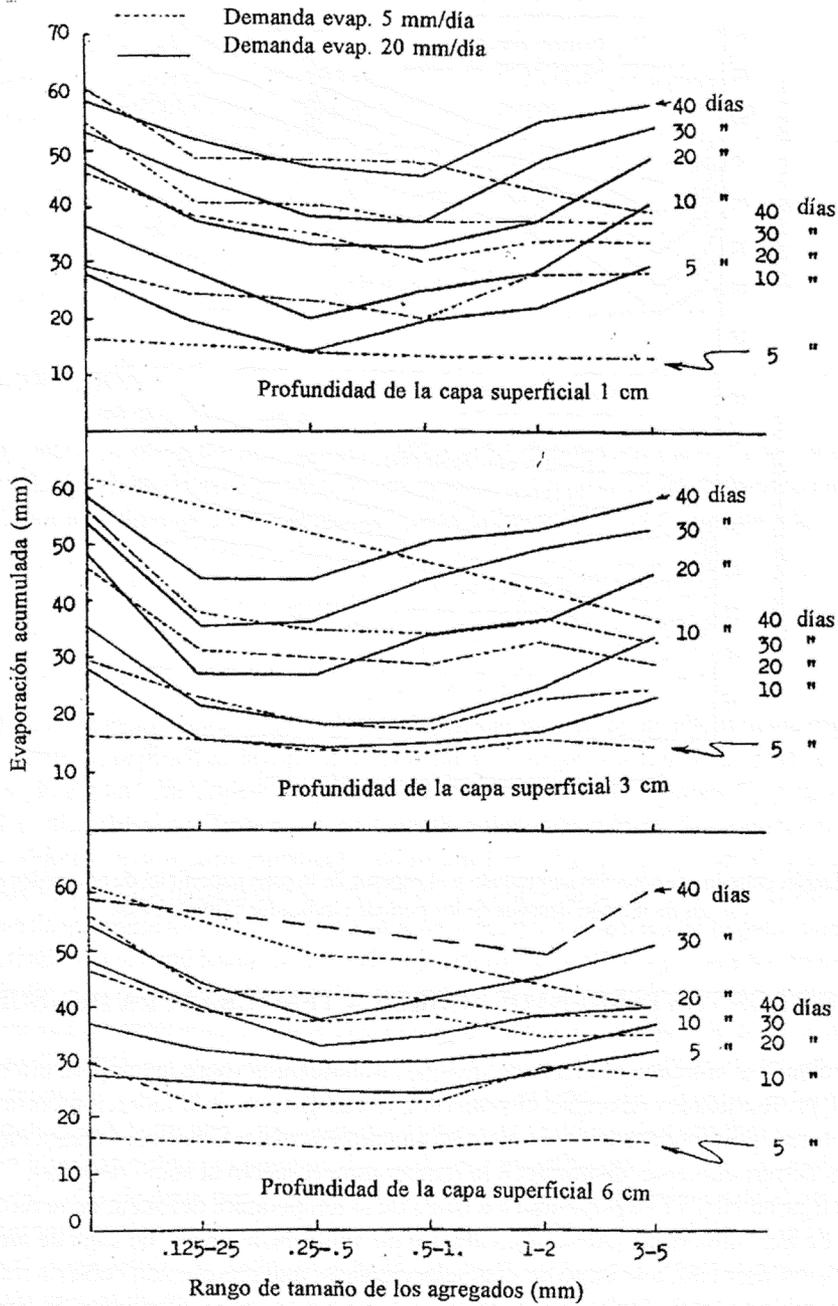


Fig. 8. Relación entre la evaporación acumulada y el tamaño de agregados de la capa superficial en columnas estructuralmente estratificadas de loess de 39 cm de altura, bajo dos demandas evaporativas (Hillel, 1968)

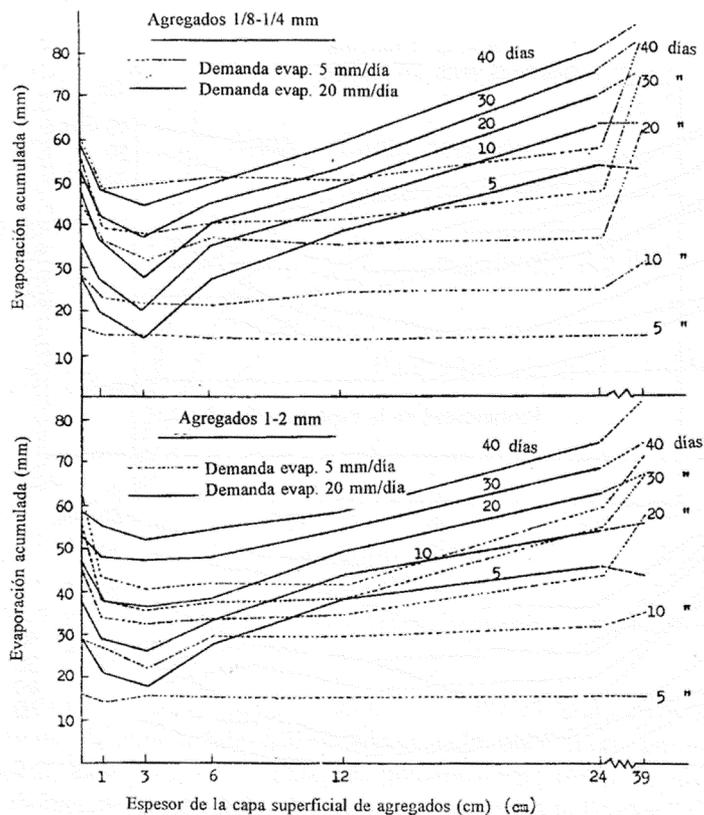


Fig. 9. Relación entre la evaporación acumulada y el espesor de la capa superficial de agregados para dos rangos de tamaño después de los períodos indicados (Hillel, 1968)

EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA TEMPERATURA DEL SUELO

En la tabla 2 se compara el efecto de diversos tratamientos sobre la temperatura media del suelo a tres profundidades. Excepto el polietileno, transparente a la radiación corta diurna y barrera nocturna, por condensación de agua en su cara interna, a la radiación larga emitida por el suelo, las demás cubiertas disminuyen la temperatura respecto al suelo desnudo.

En las figuras 10 y 11 se presentan los datos de la temperatura del suelo de invernadero de la estación de las Palmerillas (Almería), cubierto de «polifibril» negro, de capa de arena de 10 cm de espesor y desnudo, a lo largo de días seleccionados que representan cubierta mínima por el cultivo o cubierta total. Ambos tipos de cubierta amortiguan las diferencias de temperatura máximas y mínimas que se producen en el suelo desnudo, pero la arena lo hace más efectivamente. La temperatura del suelo enarenado se mantiene durante las 24 horas del día por encima del suelo acolchado con «polifibril» negro.

TABLA 2. Efecto de diferentes cubiertas («mulch») sobre la temperatura del suelo (°C).

Prof. (cm)	Lámina polietileno	Suelo desnudo	2.5 cm de grava pintada		Paja de trigo 10tm/ha
			Negro	Aluminio	
1	34.4	29.1	27.4	25.1	23.8
4	31.8	28	27.1	25.4	23.6
16	29	26.8	26	24.2	23

(Hanks et al., 1961)

TRANSPIRACIÓN

Una concisa justificación de la observación anteriormente realizada sobre la conveniencia de maximizar las pérdidas de agua por esta vía es necesaria. La producción de biomasa total, Y_T ($\text{Kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$), por un cultivo puede ser relacionada con la transpiración (T) mediante la fórmula:

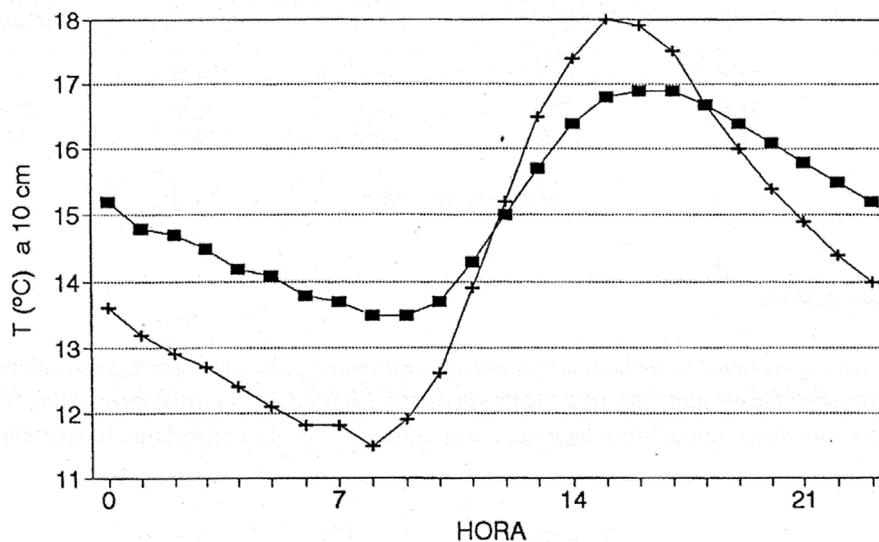
$$Y_T = m \frac{T}{E_o} \quad (3)$$

en donde E_o es la evaporación a partir de una superficie libre de agua determinada exclusivamente por el clima y m depende de la especie y variedad. Para trigo y otras muchas especies C_3 , m varía entre $110\text{-}140 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, mientras que para maíz y otras muchas especies C_4 , m es del orden de $210 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ (Fisher y Turner, 1978). Cuando solamente se mide la producción de biomasa aérea, los valores medios correspondientes de m son 108 y 183 para especies C_3 y C_4 , respectivamente. Las variaciones intraespecíficas se deben a diferencias en producción de biomasa y no a diferencias de transpiración. Debe observarse asimismo, que los valores de m para cada año varían, siendo la tendencia general hacia valores más bajos en los años cálidos y más altos en los años fríos.

En la fig.12(a) se representa una de estas relaciones individuales para un cultivo de papas. Cuando en vez de representarse en abcisa la transpiración acumulada, se representa ésta dividida por la diferencia de presión de vapor saturada y la presión de vapor del aire, se observa una menor diferencia entre los datos de los tres años representados (fig.12 b), al incluirse las variaciones ambientales entre años que causan variación de la demanda evaporativa.

Cuando existe cubierta completa del suelo por un cultivo y éste está bien abastecido de agua, las pérdidas de agua por evaporación son despreciables, llamándosele al agua consumida evapotranspiración potencial. A la evapotranspiración potencial de un cultivo bajo, de gramíneas o de alfalfa segada de 8 a 15 cm de altura, con cubierta total, se le llama evapotranspiración de referencia (ETo).

CULTIVO: MELON, FASE PLANTULA 23-Ene-94



CULTIVO: MELON, FASE FLORACION 9-Abr-94

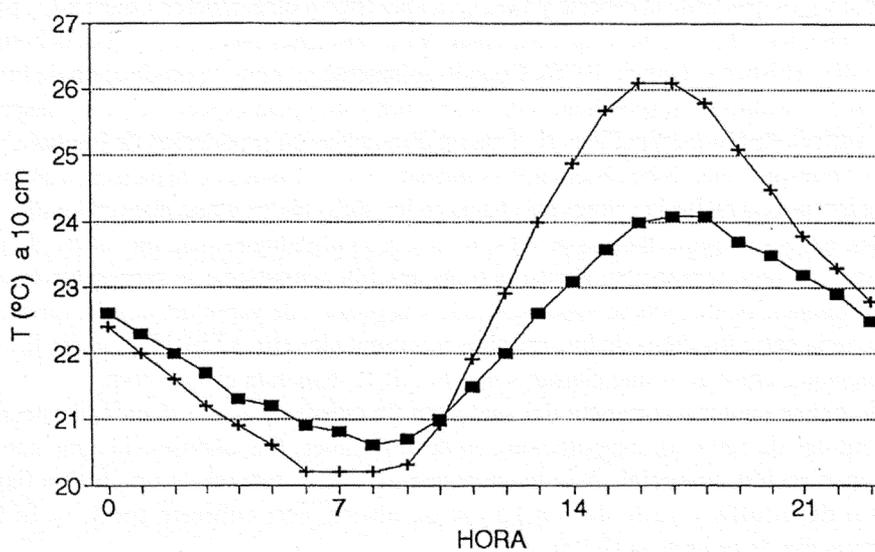
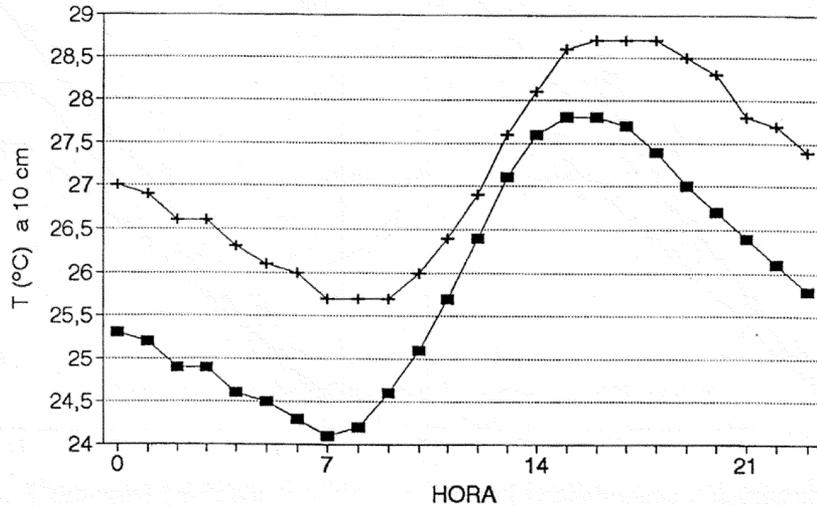


Fig. 10. Temperatura del suelo 10 cm debajo de la superficie con acolchado de polifril y sin acolchar durante los días indicados con un cultivo de melón en un invernadero de la estación experimental de las Palmerillas (Gallego, A. et al., datos no publicados)

CULTIVO: TOMATE, FASE PLANTULA

8-Oct-94



CULTIVO: TOMATE

25-Feb-95

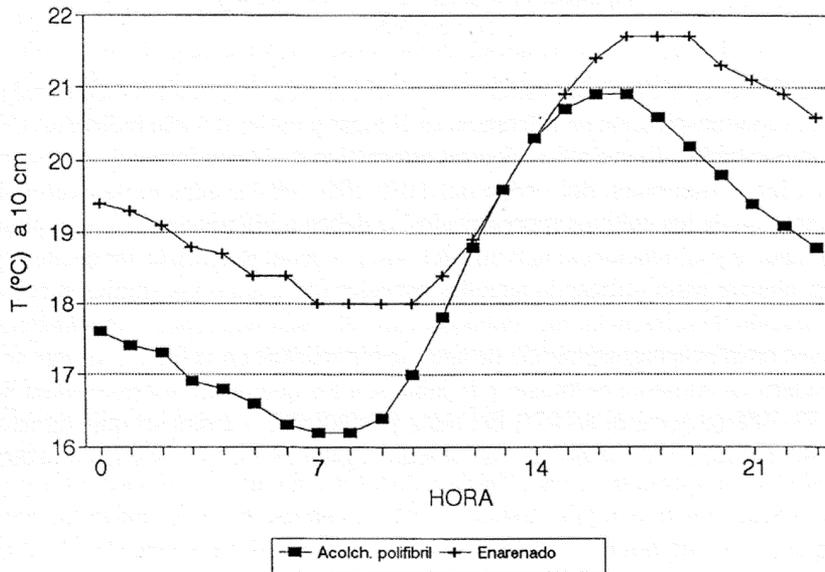


Fig. 11. Temperatura del suelo 10 cm debajo de la superficie con acolchado de polifril y sin acolchar durante los días indicados con un cultivo de tomate en la estación experimental de las Palmerillas (Gallego, A. et al., datos no publicados)

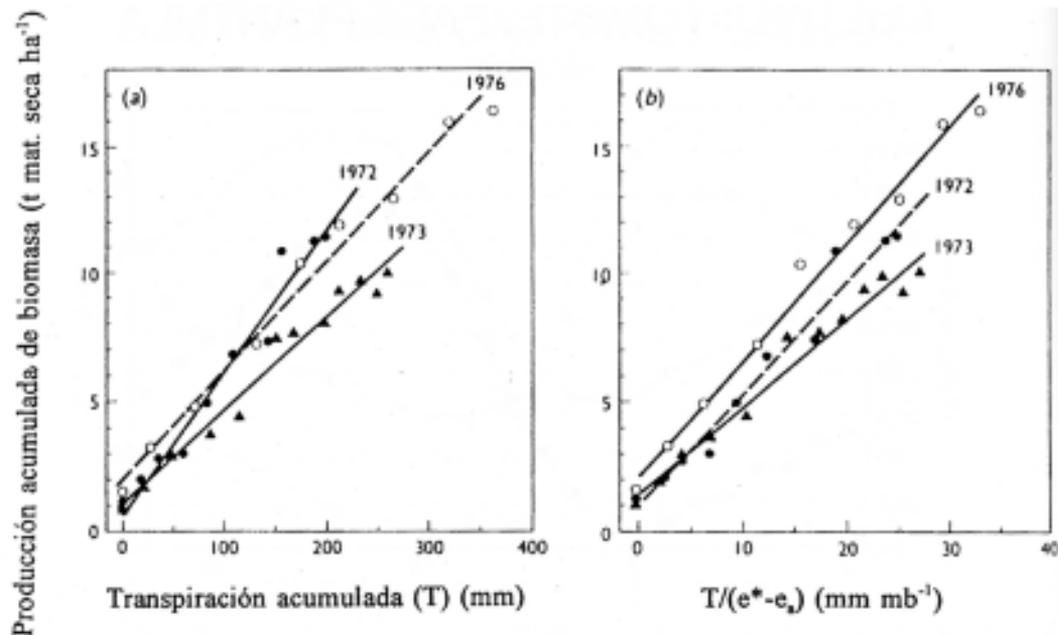


Fig. 12. Relación entre la producción total de materia seca de cosechas de patatas durante el período de formación de tubérculos.
 (e_a , e^* presión de vapor de aire y presión de vapor de saturación a la temperatura de la hoja, respectivamente)
 (a) transición acumulada (b) $T/(e^* - e_a)$
 (Tanner, 1981)

En la fig. 13 se representan los valores de velocidades de evapotranspiración real de varios cultivos y la evapotranspiración de referencia en el lugar y meses del año indicados. Como bajo las condiciones establecidas no existe control estomático de la conductancia al vapor de agua en las hojas, las variaciones, del orden del 10%-20%, observadas en las velocidades de evapotranspiración de los cultivos representados se deben a diferencias en color, altura, rugosidad aerodinámica y conductancia máxima del dosel vegetal. Resultaría altamente especulativo pretender ahorrar agua utilizando aquellas especies que menos consumiesen respecto a la evapotranspiración de referencia. Sin embargo, cabe destacar dos felices coincidencias: de los cuatro cultivos cuya evapotranspiración de agua se representan en la fig.13, los que se cultivan bajo invernadero en Almería, el tomate y la judía son los que un menor porcentaje de la E_{To} consumen, 73-70% respecto al 86-87% del maíz y remolacha. La otra, es que durante los meses de máximo consumo es cuando menos cubierta vegetal existe en la horticultura almeriense.

DRENAJE

Es en el tercer término del segundo miembro de la ecuación 2 (fig.1), el drenaje (D), donde cabría pensar que más oportunidad existe para ahorrar agua de riego. Sin embargo, D no se

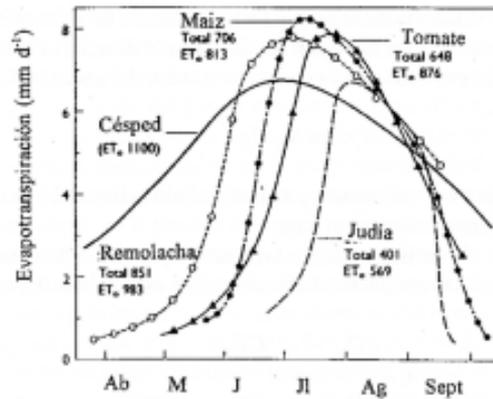


Fig. 13. Evapotranspiración estacional de varios cultivos bien regados comparados con la del césped de referencia (ET₀) en Davis, California. Las curvas son medias de siete años (Pruit, 1986)

debe llegar a anular, pues en la agricultura de riego bajo plástico (precipitación nula), ello conduciría a la salinización del suelo, de la misma manera que cuando D sea negativo: ascenso capilar de agua desde una capa freática, próxima a la superficie, a la zona radicular.

Una condición necesaria para el uso eficiente de agua en la parcela es la uniformidad de aplicación. Si el sistema suelo-planta fuese uniforme, tanto la infiltración del agua en el suelo como las pérdidas de agua por evaporación y extracción radicular serían idénticas en toda la superficie de la parcela que se riegue. Si se define la fracción de lavado (f_l) de un riego como la fracción del agua de riego (R) que drena (D) por debajo de la máxima profundidad que alcanzan las raíces:

$$f_l = \frac{D}{R} = \frac{R - ET}{R} = 1 - \frac{ET}{R} \quad (4)$$

siendo $0 \leq f_l < 1$

Independientemente de la variabilidad en las propiedades hidrofísicas del suelo, los métodos de riego de alta frecuencia han propiciado la posibilidad de aplicar muy uniformemente el agua al suelo (Hiler, 1975). El que en una parcela varíe la f_l de un punto a otro de la misma, puede deberse a la variabilidad en la retención del agua por el suelo o a la variabilidad en extracción de agua por las raíces. Esta última posibilidad, podría deberse a una variación de la ET producida por una diferencia en salinidad en el suelo. A mayor salinidad menor transpiración y, por tanto, mayor f_l que tendería a bajar la salinidad: retroalimentación positiva que atenuaría la variabilidad inicial. O bien, puede deberse, a variaciones microclimáticas dentro del invernadero que pueden determinar variabilidad tanto en el desarrollo vegetal como en la demanda evapotranspirativa.

Cuando exista una situación estacionaria en el contenido de sales solubles en el suelo y se ignore otra fuente de sales que las natural o artificialmente disueltas (fertirrigación) en el agua de riego, el balance nulo entre las sales que entran y salen del suelo será:

$$V_r \cdot C_r = V_d \cdot C_d \quad (5)$$

en donde V y C se refieren a volúmenes y concentración salina del agua y los subíndices r y d a agua de riego y drenaje, respectivamente.

Se puede reescribir (5) sustituyendo los volúmenes por altura de láminas correspondientes y las concentraciones por las conductividades eléctricas específicas (CE):

$$f_l = \frac{D_d}{D_r} = \frac{CE_r}{CE_d} \quad (6)$$

Se define como necesidad de lavado (f_{nl}) de un agua de riego para un cultivo determinado como la f_l objetivo para mantener la salinidad del suelo en un valor compatible con la tolerancia de dicho cultivo a la salinidad:

$$f_{nl} = \frac{CE_r}{CE_{d \text{ máx}}} = \frac{V_{d \text{ mín}}}{V_r} \quad (7)$$

en donde $V_{d \text{ mín}}$ es el mínimo volumen de agua que debe drenar fuera de la zona radicular para mantener la salinidad apropiada en el suelo.

Este concepto de necesidad de lavado es considerado académico por algunos por su poca importancia práctica. Es cierto, que con gran parte de los métodos de riego tradicionales en donde la eficiencia de utilización en campo del agua suele ser 75% o menor ($f_l \geq 0.25$, si la escorrentía es nula), con la mayoría de los cultivos en donde los rendimientos no se afectan hasta que la salinidad del suelo, medida como la CE del extracto de saturación (CE_e), excede 3 ó 4 dS/m a 25°C y una gran proporción de las aguas de riego tienen menos de 1 g/L de sal disuelta ($CE_r \leq 1.5$ dS/m), se inducirán salinidades máximas en el perfil del suelo explorado por las raíces, entre 1.5 dS/m en superficie a $1.5/0.25 = 6$ dS/m en el límite más profundo de enraizamiento, medida en el agua del suelo a la llamada humedad de la capacidad de campo y, considerablemente inferior, aproximadamente la mitad, expresada como CE_c . Si los problemas de salinidad afectan a una tercera parte de los regadíos del mundo (Tanji, 1990), particularmente en situaciones en las que $D < O$, no debe haber duda de que hay numerosas excepciones a aquellas circunstancias ciertamente frecuentes. Conviene advertir que cuando $D < O$, el concepto de f_{nl} es inoperante, al menos antes de regular el nivel freático y posibilitar un drenaje neto positivo.

Considerando la validez de las anteriores premisas en las condiciones de la agricultura bajo plástico de Almería, destacaremos que con la generalizada difusión de métodos de riego potencialmente muy eficientes, el cultivo de especies sensibles a la salinidad como la judía y el uso

de aguas de riego con una concentración salina frecuentemente alta, se hace particularmente crítico el manejo del agua. Se podrá ahorrar agua, reduciendo R y D, en tanto que la salinidad que se induzca en el suelo no afecte a la producción. La relación entre rendimientos relativos y fracción de lavado para tres cultivos que se regaron con agua de riego de $CE_r = 2.2$ dS/m, se presenta en la fig.14. Hasta que se alcanzan las mesetas de las curvas de producción, la salinidad inducida disminuye los rendimientos así como la evapotranspiración (fig.15). Ambas figuras ilustran la influencia de la tolerancia del cultivo en el manejo idóneo del agua de riego.

Otro aspecto a considerar, es la posible mejor tolerancia a la salinidad de los cultivos cuando se riegan por métodos de alta frecuencia. En la fig.16 se presentan datos obtenidos por Parra y Cruz (1980), cultivando judías que se regaban con agua de salinidades crecientes pero manteniendo, en el tratamiento húmedo, la tensión matricial del agua en el suelo entre 20 y 30 kPa y, en el tratamiento seco, entre 40 y 50 kPa. Shalhevet et al. (1983) no encontraron respuesta en los rendimientos de berengenas cuando se regaban con idénticos volúmenes de agua de salinidad creciente y se usaban intervalos entre riegos variables entre 2 y 12 días. Solamente cuando el intervalo se dilató a 16 días se obtuvo una reducción en los rendimientos (fig.17).

Algunas de las dificultades existentes para conciliar resultados conflictivos en las respuestas de las plantas a la salinidad en condiciones de campo, estriban en:

1º.- *La distribución heterogénea de sales en el perfil del suelo*, aún en las situaciones más simples como puede ser un «cultivo unidimensional» (p.e.alfalfa), con aplicación de agua homogénea en toda la superficie del suelo (riego por inundación o aspersión) y régimen perma-

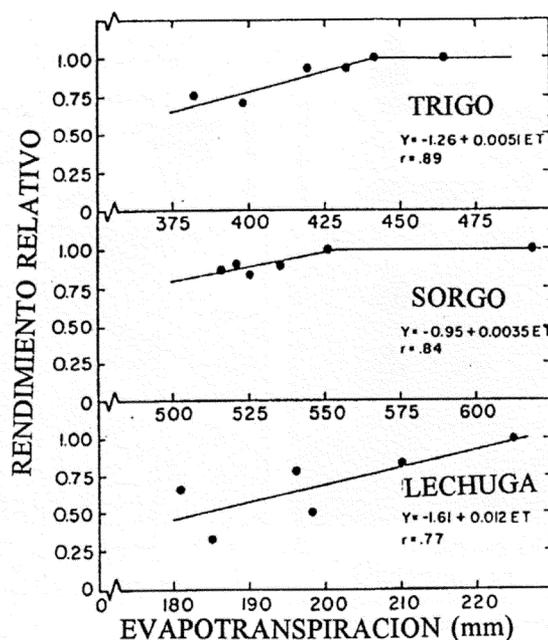


Fig. 15. Rendimientos relativos de trigo, sorgo (grano) y lechuga en función de la evapotranspiración (Hoffman et al., 1979)

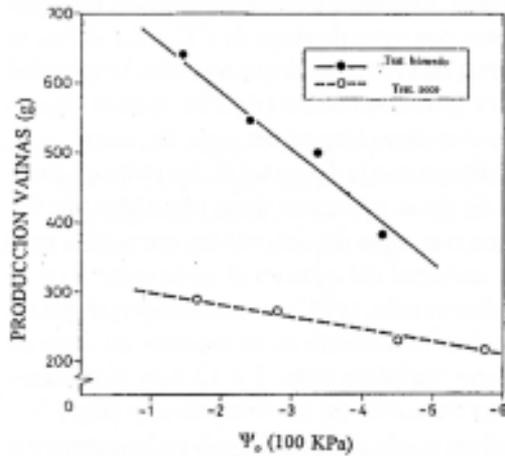


Fig. 16. Producción de vainas de judías en función del potencial osmótico del agua del suelo y del régimen de riego (Parra et al., 1980)

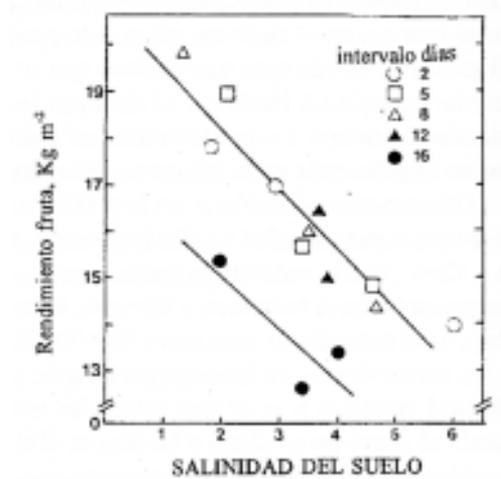


Fig. 17. Relación entre el rendimiento de berenjenas y la salinidad final del suelo, expresada como C_{Ee} (dSm⁻¹) para los cinco intervalos entre riegos indicados: medias de C_{Ee} de 0 a 0.9 m. de profundidad. (Shalhevet et al., 1983)

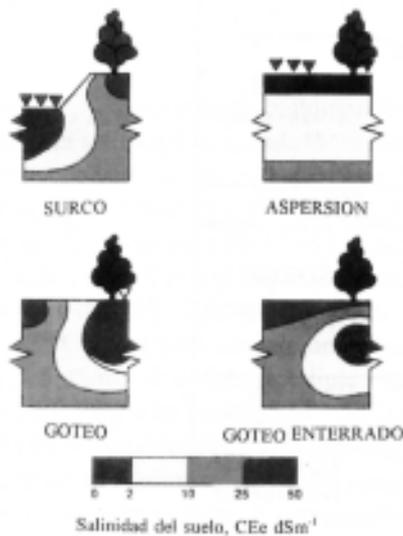


Fig. 18. El método de riego afecta la distribución de sales en el suelo. Por aspersión, la salinidad se distribuye de forma uniforme lateralmente y aumenta con la profundidad. Por surco o por goteo, la salinidad es baja debajo de la fuente de agua, aumentando con la profundidad, y es alta en la superficie entre fuentes contiguas. En la subirrigación, se eleva por encima de la fuente de agua. (Oster et al., 1984)

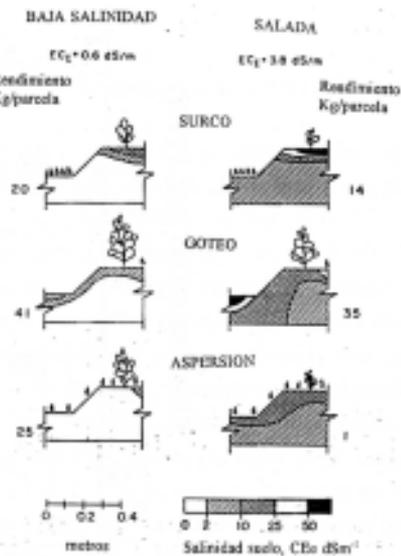


Fig. 20. Influencia del sistema de riego sobre la distribución de sales en el suelo y sobre el rendimiento de pimientos con dos aguas de riego de diferente salinidad (Bernstein y Francois, 1973)

nente en el contenido de sales. Si se obtiene la salinidad media del suelo explorado por las raíces pueden observarse respuestas distintas de un cultivo dependiendo del patrón de distribución de sales, bajo variables combinaciones de $CE_r - f_r$, con idénticos valores de salinidad media. De todas las posibles combinaciones de $CE_r - f_r$ que generan idéntica salinidad media en la zona radicular, muchos cultivos producen más cuanto menor sea la salinidad en el suelo superficial, es decir, cuando se riegan con aguas de menor CE_r aunque se manejen con menor f_r .

2º.- La distribución de sales puede variar en más de una dirección en el espacio (riego por surcos, por goteo), así como el patrón de extracción de agua por el «cultivo bi o tridimensional» (cultivos de escarda o árboles), además de *variar la salinidad con el tiempo* cuando no exista régimen permanente en el flujo de sales en el suelo.

En la fig. 18 se esquematiza la influencia del método de riego en el patrón de distribución de sales en el suelo. En la fig. 19 se relaciona la distribución espacial de cloruros en un suelo cuando se riega por goteo con dos manejos diferentes del agua de riego.

Bernstein y François (1973), estudiaron la respuesta del pimiento bajo tres métodos de riego cuando se utilizaban aguas de riego de salinidad baja y alta (fig.20). Las producciones obtenidas bajo riego por goteo siempre excedieron a las obtenidas con los otros métodos, pero cuando se usaban aguas de riego de salinidad alta, la ventaja del método de riego que empleaba frecuencia alta, fué espectacular.

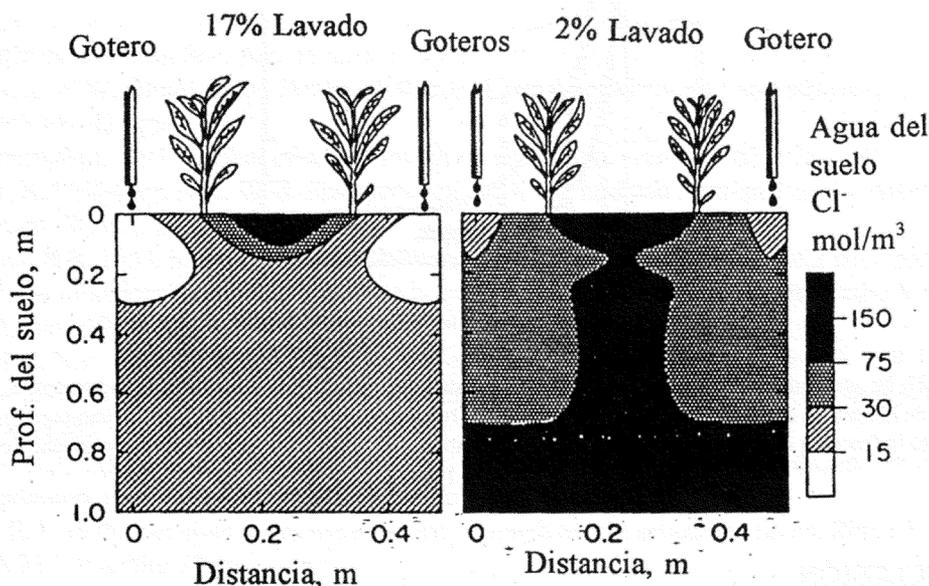


Fig. 19. Perfiles de cloruro en el suelo en régimen permanente, en riego por goteo empleando las fracciones de lavado indicadas (Hoffman, 1981)

Una práctica normal cuando se emplea riego localizado en cultivos hortícolas, es realizar el lavado de sales, acumuladas durante el cultivo en la interfase del bulbo húmedo-suelo seco, mediante riegos por inundación previos a la siembra del siguiente cultivo. Debido a la falta de equilibrio respecto a la concentración de sales, entre el agua que percola a través de los macroporos del suelo y la existente en los microporos, se obtiene una mayor eficiencia en el lavado de sales cuando se emplea la inundación intermitente, es decir, cuando la lámina de riego se fracciona en varias aplicaciones (fig.21). Quizás la cubierta de arena, que reduce las pérdidas de agua del suelo, minimice las ventajas de la aplicación fraccionada. Si todos los cultivos se realizasen con el mismo marco de plantación y tuvieran una distribución radicular análoga, tal vez pudiese aplazarse el lavado de sales a la operación del retranqueo de la arena.

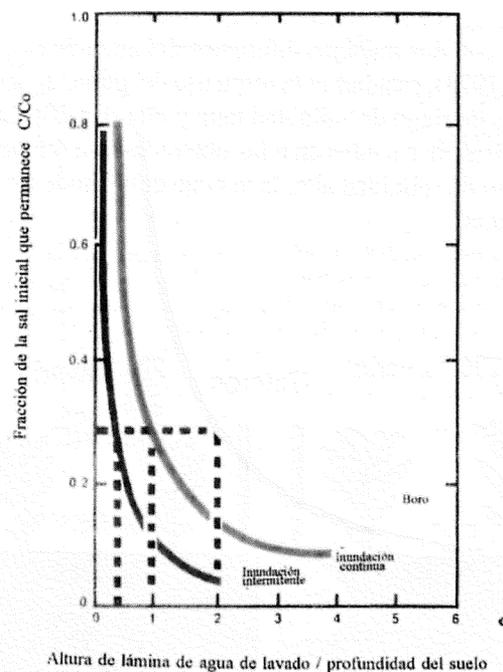


Fig. 21. El agua que se requiere para reducir la salinidad del suelo o el contenido en boro se expresa como altura de lámina de agua por profundidad de suelo. La reducción de salinidad o de boro obtenida se representa como la fracción de C/C_0 entre la concentración después del lavado C y la concentración inicial C_0 (Oster et al., 1984)

CONCLUSIÓN

He tratado de ilustrar que las prácticas que favorecen la conservación y ahorro del agua mediante el manejo de los suelos y de los riegos son conocidas por los agricultores que, anónimamente además, son los responsables de una práctica, tan original como efectiva, como

es el enarenado. El límite al ahorro está en la inducción de salinidad en el suelo. Sin duda que hay lugar para las mejoras. Quizás valdría la pena considerar el posible ahorro de fertilizantes. Los datos de consumo, las estrategias de riegos para diferentes cultivos, la identificación de problemas de productividad en zonas o explotaciones específicas son labores para continuar o emprender. Sin embargo, como ya apunté al comienzo de esta charla, la solución al problema del agua en Almería no reside tanto en el ahorro de agua en las parcelas o en las conducciones como en la limitación de la superficie regada (¿crecimiento cero?) conjunta con la gestión de fuentes alternativas de agua a la subterránea de los acuíferos litorales: transvase, uso de aguas residuales, recolección de agua de lluvia de invernaderos no de tipo parral, posible regulación adicional de cursos superficiales en la sierra media y alta y, como último recurso, muy demandante de energía, plantas desaladoras de agua.

En el tema del manejo integral del agua todo menos la anarquía, concluiré parafraseando al gran escritor alemán.

REFERENCIAS

- Anónimo. 1974. More water for arid lands. National Academy of Sciences. Washington, D.C. 153pp.
- Bernstein, L., Francois, L.E. 1973. Comparisons of drip, furrow and sprinkler irrigation. *Soil Sci.* 115: 73-86.
- Bond, R.D., Willis, W.O. 1969. Soil surface evaporation: surface residue rate and placement effects. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33: 445-448.
- Emerson, W.W., Bond, R.D., Dexter, A.R. eds. 1978. Modification of soil structure. J. Wiley & Sons. 438 pp.
- Fairbourn, M.L. 1973. Effect of gravel mulch on crop yield. *Agron. J.* 65: 925-928.
- Fisher, R.A., Turner, N.C. 1978. Plant productivity in the arid and semi-arid zones. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 29:299-317.
- Gardner, H.R. 1983. Soil properties and efficient water use: evaporation of water from bare soil. En «Limitations to efficient water use in crop production». H.M. Taylor et al. eds. *Am. Soc. Agron.*, 1983: 65-71. 538 pp.
- Gavrilov, N.F. 1961. Effect of cracks on soil-moisture content. *Pochvovedenie* 7: 118-121.
- Hadas, A. 1975. Drying of layered soil columns under nonisothermal conditions. *Soil Sci.* 119: 143-148.
- Hanks, R.J., Bower, S.B., Boyd, L.D. 1961. Influence of soil surface conditions on the net radiation, soil temperature and evaporation. *Soil Sci.* 91: 233-239.
- Hiler, E.A. 1975. Increased water use efficiency through trickle irrigation. *Techn. Rep.* 65. Texas A M University 72 pp.
- Hillel, D. 1968. Soil water evaporation and means of minimizing it. *Techn. Rep.* Volcani Inst. Agric. Res. Rehovot. 98 pp.
- Hillel, D., Talpaz, H. 1977. Simulation of water dynamics in layered soils. *Soil Sci.* 123: 54-62.
- Hoffman, G.J. 1981. Alleviating salinity stress. En «Modifying the root environment to reduce crop stress». G.F. Arkin y H.M. Taylor eds. *Am. Soc. Agric. Eng. Monograph*: 305-343.

407 pp.

- Hoffman, G.J., Rawlins, S.L., Oster, J.D., Jobes, J.A., Merrill, S.D. 1979. Leaching requirement for salinity control I. Wheat, sorghum and lettuce. *Agric. Wat. Manag.* 2: 177-192.
- Holmes, J.W., Greacen, E.L., Gurr, C.G. 1960. Evaporation of water from bare soils with different tilths. *Trans. 7th Congr. Soil Sci.* 1: 188-194.
- Jacks, G.V., Brind, W.D., Smith, R. 1955. Mulching. Commonwealth Bur. Soil Sci. (Inglaterra). Tech. Comm. No. 49. 31pp.
- Junta de Andalucía. 1990. Jornadas técnicas sobre el agua y el suelo, laboreo de conservación. Consejería de Agricultura y Pesca. Colección: Congresos y jornadas nº 17. 222pp.
- Lemon, E.R. 1956. The potentialities for decreasing soil moisture evaporation loss. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 20: 120-125.
- Oster, J.D., Hoffman, G.J., Robinson, F.E. 1984. Management alternatives: crop, water, and soil. *Calif. Agric.* 38 (10): 29-32
- Papy, F. 1988. Effet de l'état physique initial d'une couche labourée sur son comportement hydrique et structural. En «Etudes sur les transfer d'eau dans le système soil-plant-atmosphere». Calvet, R. ed. INRA. Paris. 362pp: 153-168.
- Parra, M.A., Cruz, G. 1980. On the dependence of salt tolerance of beans on soil water matric potential. *Plant and Soil* 56: 3-16.
- Pruitt, W.O. 1986. Prediction and measurements of crop water requirements: the bases of irrigation scheduling. *Fac. of Agric. Univ. of Sidney.* 58pp.
- Pulido Bosch, A., Navarrete, F., Molina, L., Martinez Vidal, J.L. 1991. Quantity and quality of groundwater in the Campo de Dalías (Almería, Spain). *Water Sci. Tech* 24 (II): 87-96.
- Shalhevet, J., Bruria, H., Meiri, A. 1983. Irrigation interval as a factor in the salt tolerance of eggplant. *Irrig. Sci.* 4: 83-93.
- Smith, S.T. 1962. M. Sc. Thesis. Univ. of Western Australia. Perth. Citado por A.J. Peck: Development and reclamation of secondary salinity. En «Soils factors in crop production in a semi-arid environment». J.S. Russell y E.L. Greacen. 1977. Univ. of Queensland Press 327pp.: 301-319.
- Tanji, K.T. 1990. The nature and extent of agricultural salinity problems. En «Agricultural salinity assessment and management». Tanji, K.T. ed.. 619 pp: 1-18.
- Tanner, C.B. 1981. Transpiration efficiency of potato. *Agron. J.* 73: 59-64.
- Unger, P.W. 1988. Sistemas de labranza para la conservación del suelo y del agua. *Boletín de suelos de la FAO* 54. 288pp.
- van Schilfgaarde, J., Rawlins, S.L. 1983. Water resources management in a growing society (ver ref. Gardner): 517-529.