

# INVESTIGACIONES

## RESPUESTA DEL CULTIVO DEL ESPÁRRAGO (*Asparagus officinalis* L.) A DISTINTOS REGÍMENES DE RIEGO DURANTE LAS DOS PRIMERAS TEMPORADAS DE ESTABLECIMIENTO<sup>1</sup>

### Asparagus crop (*Asparagus officinalis* L.) response to different water regimes during the first two establishment seasons

Raúl Ferreyra E.<sup>2</sup>, José M. Peralta A.<sup>2</sup>, Gabriel Sellés van S.<sup>2</sup>,  
Norbert Fritsch F.<sup>3</sup>, Felipe Contador F.<sup>3</sup> y Alejandro Rubio F.<sup>3</sup>

#### S U M M A R Y

Irrigation field experiments in asparagus crop during establishment period were carried out at La Platina Regional Research Center (INIA, Santiago), in 1987/88 and 1988/89 seasons.

Water treatments were evaluated, using a simple line sprinkler system, proposed by Hanks *et al.* (1980). Crop evapotranspiration (ET) was determined through the soil water balance method; soil moisture was measured with a neutron probe. Watering treatments consisted on applications of 0 to 1.1 times the evapotranspiration (ET).

An exponential relationship between yield and increasing water height at soil profile level was found. The maximum dry matter yield was reached in the 84.5%  $E_b$  treatment. The relationship ( $K_y$ ) between relative reduction in yield and relative change in ET was 0.98 in a range of moisture lowering from 0 to 46%. The crop coefficient ( $K_c$ ) reached a maximum value of 1.0 in the second year. Water use efficiency increased with ET and reached a maximum of 2.14 kg/m<sup>3</sup>. Moisture increased depth and lateral extension of the root system. Xylem water potential decreased down to -2.27 MPa when moisture restriction increased from 5.2 to 84.5% of the  $E_b$ . The incidence of *Fusarium* was increased when total water applied was 60% larger than the seasonal ET.

**Key words:** asparagus, irrigation, evapotranspiration, root distribution.

#### INTRODUCCIÓN

El rendimiento de un cultivo está estrechamente ligado al agua que éste evapotranspira. Si la relación entre evapotranspiración (ET) y rendimiento se expresa en términos relativos, se obtiene el coeficiente  $K_y$ , el cual indica la magnitud en que se reducen los rendimientos frente a una disminución de la evapotranspiración del cultivo.

Conocer la relación agua-rendimiento ( $K_y$ ) es de gran importancia para planificar el riego y para proyectar el rendimiento de los cultivos en condiciones de un abastecimiento de agua limitado. A nivel predial, esta relación permite definir la superficie y nivel de riego para cada cultivo, de modo de optimizar el uso del recurso agua y maximizar los rendimientos (Doorenbos y Kassam, 1979).

La relación entre rendimiento y ET es normalmente lineal para déficit de humedad aprovechable hasta del 50%, aproximadamente; sin embargo, también se encuentran relaciones no lineales en algunas especies tales como remolacha, cítricos y alfalfa (Doorenbos y Kassam, 1979). Relaciones lineales han sido encontradas en cultivos tales como: pimiento, tomate, tabaco, fréjol, maíz, trigo, maravilla y vid, entre otros (Shalhevet y otros, 1979; Steward y Hagan, 1973; Chang, 1974; Warrick y Gardner, 1983; Ferreyra, Sellés y Tosso, 1985; Ferreyra, 1987). La pendiente de la relación lineal varía con la especie, con las condiciones edafoclimáticas y, frecuentemente, con el estado fenológico (Steward y Hagan, 1973; Doorenbos y Kassam, 1979).

Para aplicar el agua de riego, en cuanto a oportunidad y cantidad se ha utilizado con bastante éxito el método del balance hídrico, que considera las características del suelo, del clima y del cultivo. La necesidad de riego está determinada por

<sup>1</sup>Recepción de originales: 16 de mayo de 1994.

<sup>2</sup>Centro Regional de Investigación La Platina (INIA), Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

la evapotranspiración del cultivo y por el contenido de agua en el suelo. La ET puede ser estimada a partir de la evaporación de una bandeja ( $E_b$ ) clase A y del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), que representa la relación existente entre la evapotranspiración del cultivo y la evaporación de bandeja en un período de cultivo dado.

El espárrago es un cultivo perenne, cuyo rendimiento, en una temporada, está relacionado con la actividad fotosintética del follaje y acumulación de reservas en la temporada anterior (Krarup, 1988).

En la fase de cosecha (septiembre-diciembre), el consumo de agua del espárrago es reducido, ya que, al no existir follaje, la ET es mínima. Al comenzar el verano (diciembre), el consumo aumenta rápidamente con el crecimiento del follaje, alcanzando el  $K_c$  un valor de 0,7. En pleno verano (enero-marzo), el consumo de agua es máximo, debido al activo crecimiento y a la elaboración de reservas. Los requerimientos hídricos totales de la temporada fluctúan en torno a 0,75 veces la  $E_b$  (CORFO, 1982).

La cobertura del área, por la canopia del cultivo, alcanza, en condiciones óptimas, el 25% en el primer año, 60% en el segundo y 100% a partir del tercer año, por lo que el valor de  $K_c$  es función de la edad de las plantas (Krarup, 1988).

El espárrago se puede considerar como una especie moderadamente tolerante a la sequía, pues se ha observado una detención total del crecimiento aéreo con bajos potenciales hídricos en el xilema (-1,8 MPa); sin embargo, el hecho de que éste se comienza a afectar con potenciales mátricos relativamente altos (-0,05 a -0,1 MPa), evidencia la importancia de mantener una disponibilidad alta de humedad en el suelo con el fin de maximizar crecimiento, vigor y rendimiento (Wilcox-Lee, 1987).

Otros autores (Canell y Takatori, 1970), señalan que con tratamientos de humedad media (-80 KPa) se obtiene mayor rendimiento de turiones totales respecto de un tratamiento de mayor humedad (-40 KPa). Este hecho fue atribuido a las bajas temperaturas del agua durante el ensayo. Al examinar el peso total de follaje y el número de tallos, se encontró que éstos decrecían linealmente con una disminución de humedad.

Una consecuencia de realizar prácticas inadecuadas de riego es la incidencia de problemas patológicos como *Fusarium*. Los agentes causales de esta enfermedad se ven favorecidos por condicio-

nes extremas, tanto altas como bajas de humedad en el suelo (Apablaza, 1988).

El presente artículo tiene por objetivo presentar algunos resultados que permitan cuantificar la relación agua-rendimiento en el cultivo del espárrago y obtener información acerca de parámetros como coeficiente de cultivo  $K_c$ , desarrollo radical, entre otros, que sirvan como base para una programación del riego en esta especie.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó durante las temporadas 1987/88 y 1988/89 en la Estación Experimental La Platina, actualmente Centro Regional de Investigación La Platina (INIA, Santiago, 33° 34' lat. S y 70° 38' long. W). El régimen hídrico corresponde al tipo mediterráneo seco, que se caracteriza por un excedente de lluvia en la estación húmeda (110 mm) menor al 20% de la ET potencial (1.127 mm).

El suelo (franco arenoso) corresponde a la Serie Santiago, y es clasificado internacionalmente como "Coarse loamy sandy, skeletal mixed, termic, typic xaroxchrepts" (USDA, 1975). El perfil alcanza aproximadamente 1 m de profundidad. Al iniciar el estudio contenía 10 mg/kg de N, 5 mg/kg de P y 93 mg/kg de  $K_2O$ .

Se utilizó la variedad de espárrago UC 157 F1. Las coronas se plantaron en la segunda quincena de septiembre, efectuándose las mediciones durante el primer y segundo año desde su establecimiento.

Los tratamientos se aplicaron según el método descrito por Hanks *et al.* (1980), el cual utiliza una línea de aspersión que permite aplicar varios niveles de riego con una variación continua desde exceso a déficit (Figura 1). Se utilizaron aspersores Rain Bird 30H, con boquilla 1 1/64" x 3/32" - 7°, a una presión de 3,38 kg/cm<sup>2</sup>.

Con el fin de determinar la relación rendimiento-evapotranspiración, se consideró cuatro tratamientos de riego que consistieron en aplicar láminas decrecientes de agua a partir de 1,1 veces y hasta 0  $E_b$ , con frecuencias semanales tales que la percolación profunda fuera mínima. Los tratamientos fueron: 5,2; 34,1; 65,7 y 84,5% de la  $E_b$ .

La magnitud de la relación se obtuvo según la ecuación propuesta por Doorenbos y Pruitt (1979):

$$1 - Y/Y_m = K_y (1 - ET/ET_m)$$

donde:

Y = rendimiento de materia seca cosechado.  
 $Y_m$  = rendimiento máximo.  
 $K_y$  = coeficiente de rendimiento.  
 ET = evapotranspiración medida.  
 $ET_m$  = evapotranspiración máxima.

El balance hídrico se realizó según la ecuación:

$$AP = ET_r + E_s - pp + W$$

donde:

AP = agua aplicada.  
 $ET_r$  = evapotranspiración real.  
 $E_s$  = escurrimiento superficial.  
 pp = precipitaciones.  
 W = cambio en el contenido de humedad del suelo, considerando que no existen aportes freáticos por capilaridad.

Para hacer el balance hídrico se midió el contenido de humedad del suelo (antes y después de cada riego) en forma gravimétrica en los primeros 20 cm y con un aspersor de neutrones cada 20 cm hasta 1 m de profundidad. La lámina de agua aplicada se determinó mediante una línea de pluviómetros distanciados a 1,5 m (Figura 1). La evaporación se midió en una bandeja clase A ubicada a 2.000 m del ensayo.

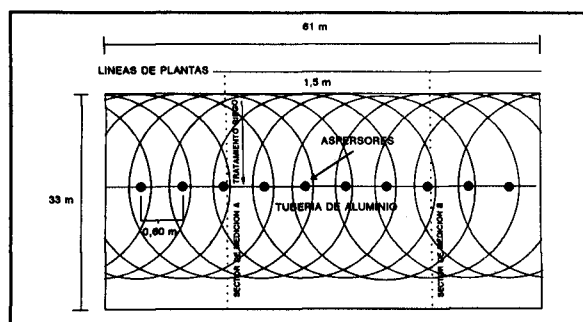


FIGURA 1. Diseño del experimento y tratamientos.

FIGURE 1. Experimental design and treatments.

Las plantas fueron transplantadas a parcelas experimentales de 5,6 m<sup>2</sup>. La distancia de plantación fue de 0,25 cm sobre la hilera y de 1,5 m entre las hileras, obteniéndose una densidad de 26.667 plantas/ha. La fertilización consistió en 150 kg/ha de N (en base a urea) cada temporada, distribuida en tres parcialidades y 40 kg/ha de P (como superfosfato triple) aplicadas al momento del transplante.

Antes de la plantación y al término de cada temporada se cuantificó la concentración de NPK en

el perfil utilizando los métodos de Bremer y Keeney, Olsen y acetato de amonio 1N a pH 7, respectivamente (Chapman y Pratt, 1961).

El período de cultivo (PC) se extendió aproximadamente por siete meses y medio (septiembre a abril), al término del cual se determinó la materia seca aérea y total utilizando una estufa de aire forzado a 65° C.

La distribución del sistema radical se muestreó con un tubo de Viehmeyer sobre la hilera y entre las hileras a 30 y 60 cm de las plantas, cada 20 cm hasta 1 m de profundidad.

El potencial hídrico de las plantas se determinó en la primera temporada (en el 85% del PC) en condición de pre-riego mediante una bomba a presión descrita por Scholander (Kramer, 1974).

Finalmente, se cuantificó la pérdida de plantas debida a *Fusarium* al término de la segunda y principios de la tercera temporada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Relación agua aplicada-producción de materia seca

La materia seca se incrementó en forma lineal al aumentar el agua aplicada. Se observó un aumento de la materia seca en el segundo año, pero con pendiente similar a la del primer año (Figura 2). Situación similar se obtuvo al analizar la materia seca del follaje.

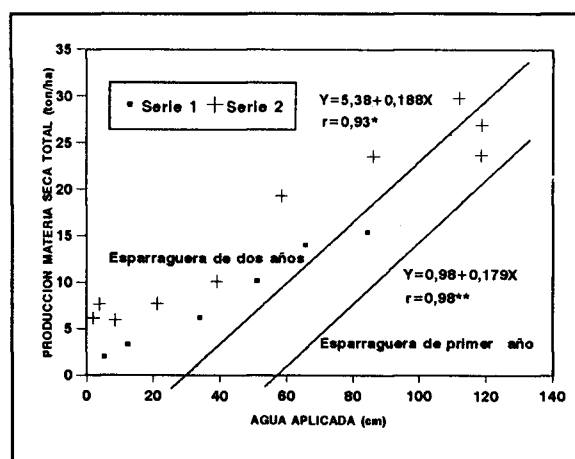


FIGURA 2. Relación agua aplicada-materia seca en espárrago.

\*Error estimado  $y = 2,5939$ ;  $x = 0,0177$ .

\*\*Error estimado  $y = 0,8574$ ;  $x = 0,0124$ .

FIGURE 2. Relation between applied water and asparagus dry matter.

### Relación evapotranspiración-rendimiento y aspectos afines

La relación entre la evapotranspiración (cm) y la biomasa (ton/ha), en la esparraguera de primer año y segundo año, fue exponencial en el rango estudiado (Figura 3), con un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0,85 y 0,75, respectivamente. Al integrar los resultados de ambas temporadas la relación obtenida fue similar (Cuadro 1). La materia seca del follaje presentó un comportamiento semejante al de la materia seca total (Cuadro 1). Relaciones de este tipo han sido descritas en especies tales como remolacha, cítricos y alfalfa por Doorenbos y Pruitt (1976).

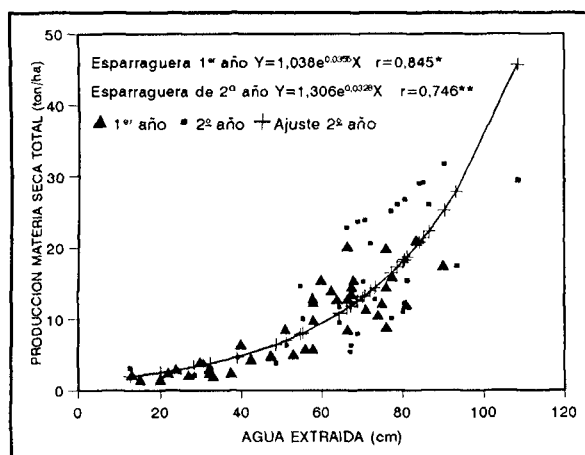


FIGURA 3. Relación agua extraída-materia seca total en espárrago.  
\*Error estimado  $y = 0,31778$ ;  $x = 0,003624$ .  
\*\*Error estimado  $y = 0,42642$ ;  $x = 0,00338$ .

FIGURE 3. Relation between extracted water and asparagus dry matter.

El rendimiento del espárrago, evaluado en términos de eficiencia en el uso del agua, siguió la misma tendencia descrita, es decir, aumentó la producción de materia seca por  $m^3$  de agua evapotranspirada, en la medida que se incrementó la ET, hasta alcanzar un máximo de  $2,14 \text{ kg}/m^3$  (Cuadro 2).

### CUADRO 2. Eficiencia en el uso del agua de una esparraguera de primer año bajo distintos tratamientos de riego

TABLE 2. Water use efficiency in asparagus crop of one year under different watering treatments

Evapo-transpiración ( $m^3$ )	Rendimiento total de materia seca (kg/ha)	Eficiencia del uso del agua ( $kg/m^3$ )
7.200	15.395	2,14
7.023	14.028	2,00
5.364	6.599	1,23
2.203	2.557	1,16

El tipo de relación encontrada evidencia que el rendimiento se afecta en mayor grado en el rango de ET cercano al óptimo, por lo que es recomendable mantener una disponibilidad de humedad en el suelo que asegure una ET alta y constante durante el periodo de cultivo.

El potencial hídrico de las plantas (en el 85% del PC), se hizo más negativo al hacer más restrictivo el régimen hídrico, variando desde  $-1,95$  hasta  $-2,27 \text{ MPa}$  (Figura 4), lo cual indica que los tratamientos de riego deficitario a que fueron sometidas las plantas resultaron efectivos en causar un estrés hídrico en el cultivo.

### CUADRO 1. Otras relaciones entre agua extraída y rendimiento

TABLE 1. Other relations between extracted water and yield

Y	X	Relación	$r^2$	Error
Rendimiento relativo <sup>1</sup>	Evapotranspiración relativa <sup>2</sup>	$Y = 0,0163^{4,436x}$	0,76	Y: 0,5454 X: 0,2796
Materia seca del follaje año <sup>1</sup> (ton/ha)	Agua extraída (cm)	$Y = 0,065^{0,0528x}$	0,85	Y: 0,4728 X: 0,0036
Materia seca del follaje año <sup>2</sup> (ton/ha)	Agua extraída (cm)	$Y = 0,239^{0,042x}$	0,77	Y: 0,5120 X: 0,0040

<sup>1</sup>Rendimiento máximo/rendimiento del tratamiento ( $Y_m/Y_a$ ).

<sup>2</sup>Evapotranspiración máxima/Evapotranspiración del tratamiento ( $ET_m/ET_a$ ).

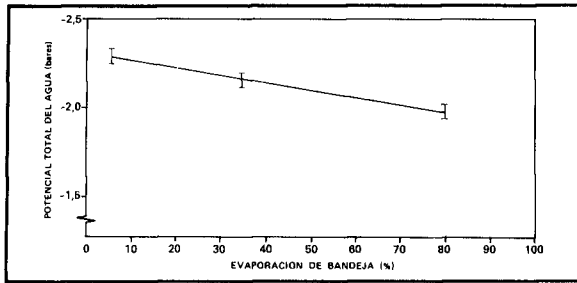


FIGURA 4. Potencial total de agua en plantas de espárragos sometidas a tres tratamientos de riego.

FIGURE 4. Total water potential in asparagus plants subject to three irrigation treatments.

**Determinación del coeficiente de rendimiento ( $K_y$ )**

El coeficiente de rendimiento corresponde a la pendiente de la curva ET-rendimiento, expresada en términos de disminución relativa (Figura 5), de manera que adquiere un valor variable, aumentando en la medida que disminuye el déficit de ET. Este hecho refleja, al igual que el punto anterior, la sensibilidad del rendimiento al déficit hídrico.

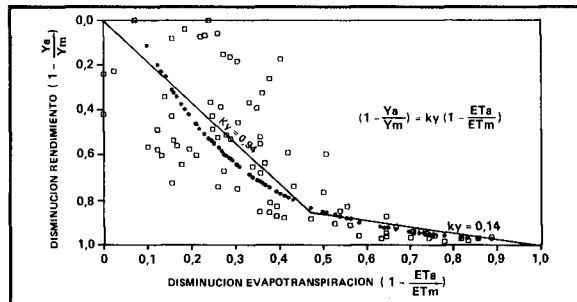


FIGURA 5. Disminución relativa de la evapotranspiración versus disminución relativa de rendimiento en espárrago.

FIGURE 5. Relative decrease of evapotranspiration vs. relative decrease of asparagus yield.

Con el objeto de hacer más operable este parámetro, y atendiendo a publicaciones que hacen mención de la conveniencia de un  $K_y$  lineal para un rango de validez del 50% de disminución de la ET (Doorenbos y Pruitt, 1976; Doorenbos y Kassam, 1979), se dividió la curva en dos sectores característicos. Las relaciones encontradas, al hacer las regresiones por separado, fueron del tipo lineal, siendo el  $K_y$  igual a 0,94 en un rango de validez de 0 a 46% de disminución de la ET. A partir de este valor la relación cambia, siendo el  $K_y$  de 0,14 para un rango de 46 a 100%. Sólo el primer valor de  $K_y$  tiene significancia agronó-

mica, pues, el segundo, representa más bien una etapa de sobrevivencia del vegetal antes que una expresión de productividad.

**Relación entre evaporación de bandeja y evapotranspiración (coeficiente de cultivo  $K_c$ )**

La Figura 6 muestra la evolución del  $K_c$  en los tratamientos de mayor rendimiento a través del período de cultivo. Las observaciones presentaron una alta variabilidad, correspondiendo los puntos graficados a un promedio de éstas.

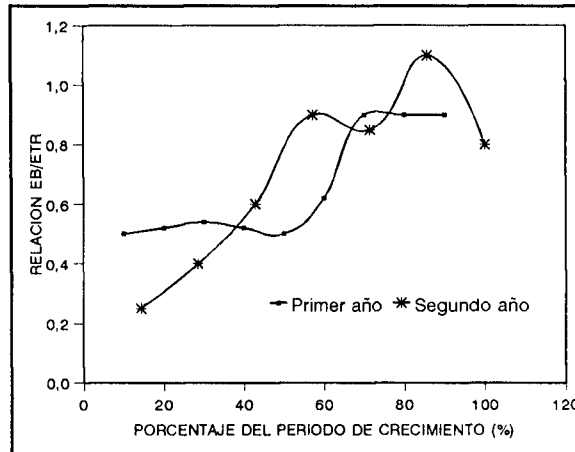


FIGURA 6. Relación entre evaporación de bandeja y evapotranspiración del espárrago.

FIGURE 6. Relation between tray-evaporation and asparagus evapotranspiration.

En la esparraguera de segundo año, se observó un mayor coeficiente de cultivo en la mayoría del período de crecimiento, lo que concuerda con publicaciones que señalan un aumento de cobertura foliar hasta el tercer año después de plantación (Krarup, 1988; CORFO, 1982; Steward y Hagan, 1973). El  $K_c$  aumentó sostenidamente hasta alcanzar un máximo de 1,0, para luego decrecer debido a la senescencia del follaje.

Los resultados indican que, en esparragueras de primer y segundo año, es necesaria una programación de riego desde temprano en la temporada y hasta el final de la misma, conforme aumentan los requerimientos evapotranspirativos del cultivo.

La evolución del  $K_c$  indicada corresponde al período pre-productivo. En condiciones productivas, los brotes (que darán origen al follaje), son cosechados hasta tarde en la temporada, donde el  $K_c$  en estas condiciones se mantendría en un valor reducido y constante hasta el término de cosecha e inicios de crecimiento del follaje.

**Distribución de raíces y extracción de humedad**

Algunos tratamientos muestran una variación importante entre una temporada y otra, sin embargo, se deducen ciertas tendencias generales que se detallan a continuación (figuras 7, 8 y 9).

En condiciones de alta disponibilidad de humedad, hubo una mayor profundización y expansión lateral del sistema radical hasta alcanzar 100 y 60 cm, respectivamente, concentrándose el 70% de la masa radical en los primeros 40 cm de suelo. En este caso, la extracción de humedad en profundidad está relacionada con la distribución de la masa radical.

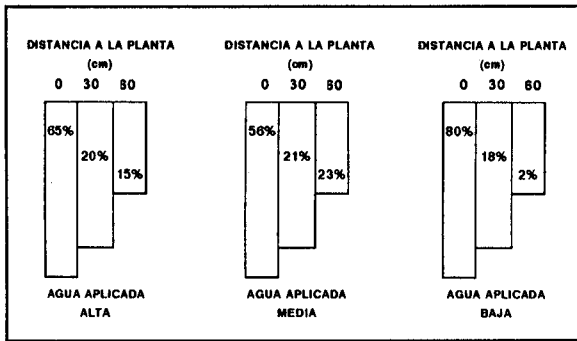


FIGURA 7. Distribución de raíces (%) en el cultivo del espárrago durante el segundo año, en sentido lateral.

FIGURE 7. Distribution of roots (%) in a two years asparagus lateral crop.

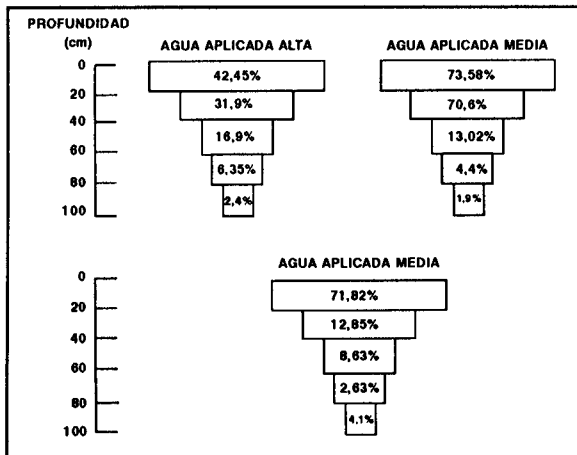


FIGURA 8. Distribución de raíces (%) en el cultivo del espárrago durante el segundo año, en profundidad.

FIGURE 8. Distribution of roots (%) in a two years asparagus depth crop.

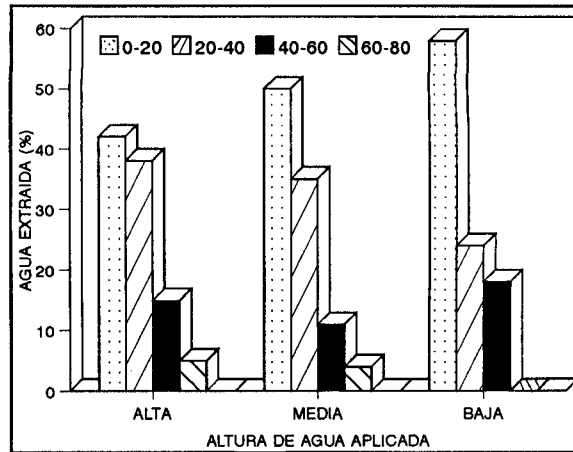


FIGURA 9. Extracción de agua por estratas en una esparraguera de segundo año.

FIGURE 9. Water extraction by stratas in a second year asparagus crop.

El radio de exploración y la profundidad de las raíces disminuyó en condiciones de disponibilidad restringida de humedad, concentrándose alrededor del 70% del sistema radical en los primeros 20 cm de suelo. La extracción de humedad en los primeros 40 cm de suelo fue proporcionalmente mayor a la masa de raíces, lo que indicaría una mayor eficiencia de éstas, probablemente, debido a un aumento de las raíces absorbentes, respecto de aquellas que cumplen una función de almacenamiento de fotosintatos.

En general, se observa que la mayor extracción de humedad ocurrió en los primeros 40 cm de suelo, haciéndose casi nula a partir de los 80 cm.

La distribución de raíces sugiere que el riego debe alcanzar una profundidad de 80 cm y un mojado de 60 cm alrededor de la planta, con el fin de desarrollar un sistema radical expandido que sea más eficiente en la absorción de agua, dando más estabilidad al cultivo frente a déficit hídricos temporales.

Es importante tener en cuenta que en la distribución de raíces existe una notable influencia del tipo de suelo y de sus características de redistribución del agua, por lo que los resultados presentados pueden no ser representativos para condiciones edáficas distintas.

**Efecto del riego en la mortalidad de plantas**

Al final de la segunda y principios de la tercera temporada se observó (Figura 10) que aplicaciones de agua inferiores a los 70 cm (equivalente

al 60% de la ET aproximadamente), produjeron un incremento en la mortalidad de plantas, el cual puede ser atribuido al efecto del estrés hídrico. Con aplicaciones de agua superiores a 70 cm, se registró un aumento gradual en la incidencia de *Fusarium*, lo que se reflejó en un incremento en la mortalidad de plantas que alcanzó a un 65% de la población en el tratamiento de mayor humedad. El efecto directo de mortalidad, en ambos casos, es probablemente algo menor, debido a la incidencia del componente de pérdida habitual de plantas durante el cultivo.

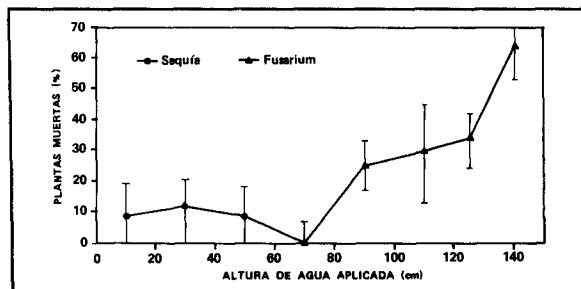


FIGURA 10. Efecto del riego en la muerte de plantas de espárrago.

FIGURA 10. Effect of watering in death of asparagus plants.

### CONCLUSIONES

La relación entre rendimiento y evapotranspiración fue de tipo exponencial, lo cual indica que el

espárrago experimentó importantes reducciones de rendimiento con niveles de humedad ligeramente por debajo del óptimo.

El coeficiente de rendimiento ( $K_y$ ) fue igual a 0,98, en un rango de validez de 0 a 48% de disminución relativa de la evapotranspiración.

La eficiencia en el uso del agua aumentó con la ET, alcanzando un valor máximo de 2,14 kg de materia seca/m<sup>3</sup> de agua evapotranspirada.

El coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) aumentó a lo largo del período de crecimiento, alcanzando un valor máximo de 1,0 en la segunda temporada.

El aumento de humedad incrementó la profundización y expansión lateral del sistema radical hasta un máximo de 1 m y 60 cm, respectivamente. La mayor extracción de humedad ocurrió en los primeros 40 cm de profundidad, volviéndose casi nula a partir de los 80 cm.

El potencial hídrico del cultivo se hizo menor, a medida que aumentó la restricción hídrica, variando en un rango de -1,95 a -2,27 MPa.

Existió una incidencia creciente de *Fusarium* cuando el agua total aplicada superó el 60% de la ET.

### RESUMEN

Durante 1987/88 y 1988/89 se realizó un ensayo en la Estación Experimental La Platina, actualmente Centro Regional de Investigación La Platina (INIA), Santiago, utilizando una esparraguera desde el establecimiento a la segunda temporada.

Se aplicaron cargas crecientes de agua desde 0 a 1,1 veces la evapotranspiración (ET), de acuerdo al método desarrollado por Hanks *et al.* (1980). La ET del cultivo se determinó mediante balance hídrico y la variación de humedad del suelo con una sonda de neutrones.

El mayor rendimiento de materia seca se obtuvo con el tratamiento 84,5% de la  $E_p$ . Se observó una relación exponencial entre rendimiento y láminas de riego crecientes, estableciéndose un coeficiente de rendimiento ( $K_y$ ) igual a 0,98, en un rango de disminución de la ET de 0 a 48%. El coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) alcanzó un valor máximo de 1,0

durante la segunda temporada. La eficiencia en el uso del agua aumentó con la ET, alcanzando un máximo de 2,14 kg/m<sup>3</sup>. El aumento de humedad incrementó la profundización y expansión lateral del sistema radical. La mayor extracción de humedad se realizó en los primeros 40 cm de profundidad, siendo casi nula a partir de los 80 cm. El potencial hídrico del cultivo se hizo más negativo cuando aumentó la restricción de humedad en el suelo, observándose un rango de -1,95 a -2,27 MPa. La incidencia de *Fusarium* aumentó notablemente con el incremento en la lámina de agua. Al final de la segunda y principios de la tercera temporada, se observó una mortalidad creciente de plantas por *Fusarium* y estrés hídrico, cuando el agua aplicada superó o fue menor al 60% de la ET de la temporada, respectivamente.

**Palabras claves:** espárrago, riego, evapotranspiración, distribución radical.

## LITERATURA CITADA

- APABLAZA, G. 1988. Enfermedades del espárrago. Pontificia Universidad Católica de Chile, Fac. de Agronomía. Curso sobre cultivo del espárrago. Santiago, 17 y 18 de mayo 1988. 258 p.
- CANELL, G. and TAKATORI, F. 1970. Irrigation-nitrogen studies in asparagus and measurement of soil moisture changes by the neutron method. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 501-506.
- CHANG, J. 1974. Climate and agriculture. Aldine Publishing, Chicago. 340 p.
- CHAPMAN, H.D. and PRATT, P.F. 1961. Methods of analysis for soils, plant and water. University of California, Division of Agricultural Sciences, California. 280 p.
- CORFO-CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN. 1982. Espárragos. Antecedentes agronómicos y económicos. CORFO. Santiago, Chile. p.: 53-68.
- DOORENBOS, J. y PRUITT, W.O. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, Estudio FAO Riego y Drenaje 24. 194 p.
- DOORENBOS, J. y KASSAM, A.H. 1979. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma, Estudio FAO Riego y Drenaje 33. 212 p.
- FERREYRA E., R. 1987. Efecto de diferentes alturas de agua sobre el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). I. Relación evapotranspiración-rendimiento. Agricultura Técnica (Chile) 47: 254-259.
- FERREYRA E., R.; SELLES VAN S., G.; y TOSSO T., J. 1985. Efecto de diferentes alturas de agua sobre el cultivo del pimiento. II. Relación agua-rendimiento. Agricultura Técnica (Chile) 45: 225-239.
- HANKS, R.J., SISSON, D.V., HURST, R.L. and HUBBARD, K.G. 1980. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line source sprinkler system. Soil Sci. Am. J. 44: 886-888.
- KRAMER, P.J. 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas. Centro Regional de Ayuda Técnica. México. 539 p.
- KRARUP, H. 1988. Morfofisiología del espárrago. Pontificia Universidad Católica de Chile, Fac. de Agronomía. Curso sobre cultivo del espárrago. Santiago, 17 y 18 de mayo 1988. 258 p.
- SHALHEVET, J., MONTELL, A., BIELORAI, H. and SHIMSHI, D. 1979. Irrigation on field and orchards crops, under semi-arid conditions, Cap. 3. Bet-Daga, Israel. 124 p.
- STEWART, I.J. and HAGAN, R.M. 1973. Functions to predict effects of crop water deficits. Journal Irrigation and Drainage Division (ASCE): 421-439.
- USDA-UNITED STATE DEVELOPMENT AGENCY. 1975. Soil taxonomy. Agriculture Handbook Nº 436. 754 p.
- WARRICK, A.W. and GARDNER, W.R. 1983. Crop yield as affected by spatial variations of soil and irrigation. Water Research 19(1): 181-186.
- WILCOX-LEE, D. 1987. Soil matric potential, plant water relations, and growth in asparagus. Hort Science 22(1): 22-24.