

**RELACIONES HIDRICAS DEL POROTO (*Phaseolus vulgaris* L.).
I. EXTRACCION DE AGUA DEL SUELO BAJO DIFERENTES
REGIMENES DE AGUA APLICADA¹**

**Plant—water relationship in beans (*Phaseolus vulgaris* L.). I. Soil—water
depletion under different irrigation levels**

Juan Tosso T.²

S U M M A R Y

Water content in the soil profile was measured during two growing seasons: in 1976, the soil was under the Gloria Pink cv; in 1977, under the Light Red cv., in a saline and in a normal soil. Eight levels of irrigation were established, using the sprinkler line source; however, only four of them are reported here, in order to facilitate the discussion and since adjacent levels of irrigation showed small difference.

Using these values, soil water depletion was calculated and analyzed, in relation to: time, soil depth, level of irrigation, cultivar, and soil salinity. Conclusion were:

- Beans extracted water down to soil depths of 225 cm, and about 20 to 50% came from layers below 105 cm. The highest values of soil water depletion occurred in the layers with highest values of field capacity. A relatively low amount of water was extracted from the first 15–45 cm of soil.
- Soil water extraction by roots is a very dynamic process, that varied with: time during the growing season, soil depth, amount of water present, and salt concentration in the soil profile. As the applied water increased, according to the level of irrigation, the total amount and the rate of water extraction from the soil profile increased. When pre-irrigated to shallow depth, the rate of soil water extraction in the upper layer increased. Excess salt in the profile produced a reduction of the soil water depletion, of about 34% in the humid treatment (VIII) and 20% in the dry treatment (without irrigation).

INTRODUCCION

El potencial de extracción de agua del suelo, que es trasladado a través de la planta hacia la atmósfera en forma de vapor, está regulado por una serie de variables climáticas. Sin embargo, la tasa de evapotranspiración depende, además, de la cantidad de agua presente o de la tensión con que el agua es retenida en el suelo. A medida que la cantidad se reduce a niveles inferiores a capacidad de campo, se produce una disminución de la tasa de evapotranspiración (Eagleman y Decker, 1965).

La controversia relacionada con el rol de la humedad del suelo en la evapotranspiración, presentada por Veihmeyer y Hendrickson (1958), Thornthwaite (1948), Pierce (1958), Baharani y Taylor (1961) y otros, ha sido parcialmente resuelta por Denmead y Shaw (1960), quienes encontraron que la relación entre la tasa de evapotranspiración y la cantidad de agua en el suelo, variaba con las diferentes demandas evaporativas del medio.

Una de las respuestas más comunmente descritas, en relación a cultivos que se desarrollan bajo condiciones de humedad de suelo limitada, es la disminución de la relación tallo—raíces (El Nadi, Brouwer y Locher, 1969), la cual puede deberse a un incremento en el crecimiento de las raíces o una disminución de creci-

¹ Recepción de originales: 2 de marzo de 1987.

² Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

miento del tallo. En la mayoría de los casos (Throughton, 1957), la principal causa parece ser esta última, indicando que el crecimiento radicular es relativamente menos afectado por un escaso suministro de agua, que el crecimiento de la parte aérea.

Existen algunas evidencias que indicarían que las raíces de ciertas especies pueden crecer en suelos secos, aun cuando el potencial de agua en el suelo se encuentre bajo -15 bares (Salim, Todd y Schlehuber, 1965). Neuman (1974) observó crecimiento radicular en cultivo de lino a -20 bares y Caldwell y Fernández (1975) informan haberlo encontrado a -70 bares de potencial de agua en el suelo, en la planta de desierto *Atriplex confertifolia*. Estos autores, encontraron que el crecimiento de raíces no se afectó con la disminución del potencial, desde $-2,8$ a $-8,3$ bares. Este fenómeno reviste gran importancia, si se considera que una disminución del contenido de humedad en el suelo induce un aumento en su resistencia mecánica y, por lo tanto, debería disminuir la elongación radicular (Taylor y Ratliff, 1969). Mediciones indirectas de presiones de turgor, indicaron que éstas permanecieron casi constantes durante el experimento, lo que se logró a través del aumento de los solutos. Hsiao y Acevedo (1974) indican que la capacidad de las raíces de "ajustarse osmóticamente", puede ser la razón por la cual se observa crecimiento radicular en suelos secos.

Slatyer (1967) menciona que el potencial de agua en la interfase suelo-raíces, parecer ser la característica principal que controla la disponibilidad de agua en el suelo para el crecimiento de las plantas. Este valor es, a su vez, influenciado por el gradiente de potencial desde el suelo a la superficie de las raíces, que se desarrolla como resultado de la extracción de agua por éstas.

La extracción de agua del cultivo de porotos, en relación al crecimiento de las plantas, fue estudiado por Neuman (1974), quien concluyó que el efecto del estrés de agua en el crecimiento de las plantas, depende de su severidad. Así, cuando las plantas fueron expuestas a un estrés muy suave, se produjo una disminución del crecimiento de los tallos, hojas y semillas. Sin embargo, el largo de raíces por unidad de suelo aumentó en relación al tratamiento más húmedo. En un tratamiento con estrés más severo, se observó una reducción general en el crecimiento de las plantas, que incluía la parte aérea y las raíces.

Finalmente, para caracterizar apropiadamente el agua que extrae el sistema radicular de un cultivo, es necesario conocer las propiedades del sistema suelo-agua (Klute y Peters, 1969). A este respecto, aparecen dos problemas que están aún sin resolver y que dificultan la cuantificación del proceso: la variabilidad espacial de las propiedades del sistema suelo-agua en el cam-

po (Nielsen, Biggar y Ehr, 1973) y, presumiblemente, de algunas propiedades químicas y físicas (lo que determina una distribución de raíces sumamente heterogénea, que requeriría un número desproporcionado de repeticiones, si se pretendiera una completa caracterización del proceso de extracción de agua); y un segundo problema es la diferencia en la capacidad de extracción de raíces de diferentes partes del sistema radicular.

En el presente estudio, la extracción de agua por las raíces y la actividad de las raíces, fueron estimadas indirectamente a través de la disminución del contenido de agua en el suelo, medida con una sonda de neutrones. Sin embargo, este método asume que el movimiento de agua en el suelo más abajo de la zona radicular es despreciable, lo que en muchos casos no sucede (Rose y Stern, 1967).

MATERIALES Y METODOS

En la Estación Experimental de la U. de California en Davis, se realizó dos experimentos: en 1976, usando porotos de la variedad Gloria Pink; en 1977, usando la variedad Light Red Kidney e incorporando un suelo que había sido salinizado previamente.

El suelo, clasificado como Yolo Silt Loam (orden: Entisoles; subgrupo: Cherosen típico), es muy profundo, bien drenado, de textura uniforme en los primeros 1,5 m, bajo los cuales pueden aparecer estratos limo-arenosos.

En ambos experimentos, la distancia entre hileras fue de 75 cm y se aplicó una fertilización uniforme de 108 kg/ha de N, 18 kg/ha de P y 45 kg/ha de K.

Cada año, simultáneamente al establecimiento del experimento, se sembró con la misma variedad, un lisímetro de flotación de 20,1 m de diámetro, dentro de 0,8 ha del mismo cultivo, con el propósito de disminuir el efecto de advección y obtener adecuadas mediciones diarias de evapotranspiración (ET), a través de la estación de crecimiento. El lisímetro se regó con la misma frecuencia que los experimentos, con una altura de agua equivalente al tratamiento con una altura suficiente para reemplazar completamente el agua usada por el cultivo la semana anterior (T-VIII). Se realizó, además, mediciones comparativas de evaporación a través de una bandeja clase A, localizada en un ambiente rodeado de pasto bien regado.

En ambos años, se aplicó un riego de presembrado a todas las parcelas, con el fin de llevar el perfil del suelo a capacidad de campo, hasta una profundidad de 3 m. Inadvertidamente, el año 1976, la parte suroeste del experimento recibió una menor cantidad de agua a

través de este riego. Esto llevó a una condición de subsuelo muy seco, en algunos de los tratamientos, lo que hizo que ellos requirieran de un análisis especial.

Se utilizó una línea de aspersión simple, que proveía una altura de agua que variaba en forma continua, a lo largo de ella. En este diseño, la línea con aspersores va paralela a las hileras del cultivo y al centro de la parcela, como se indica más adelante en las figuras 2 y 3. Se utilizaron aspersores de conducción por impacto, con dos boquillas de 11/64" y 3/32" de diámetro, con ángulo de 7° desde la horizontal.

El objetivo de este diseño, es que la aplicación de agua decrezca linealmente, a medida que se aleja de la línea de aspersión, hasta llegar a cero, lo que sucede a una distancia de aproximadamente 15,25 m. Pasada esta distancia, se mantienen condiciones de cultivo de secano. Los ocho lugares discretos seleccionados paralelamente a la línea, corresponden a los niveles de riego elegidos o tratamientos, tal como se muestra en la Figura 1.

Las parcelas se regaron semanalmente; las pérdidas de agua del lisímetro sirvieron de base para estimar la cantidad de agua que se debía aplicar.

En las figuras 2 y 3 aparece una representación esquemática de los experimentos durante 1976 y 1977, respectivamente. Los pequeños círculos, representan la ubicación de los tubos de acceso del aspersor de neutrones. Los números que aparecen sobre los círculos de las figuras, representan los niveles de riego o tratamientos.

El contenido de humedad del suelo se midió justo antes de cada riego. Para ello, se utilizó un equipo de aspersión de neutrones Troxler, cuya sonda se introducía en los tubos de acceso de aluminio de 5,1 cm de diámetro, en cada sitio de medición.

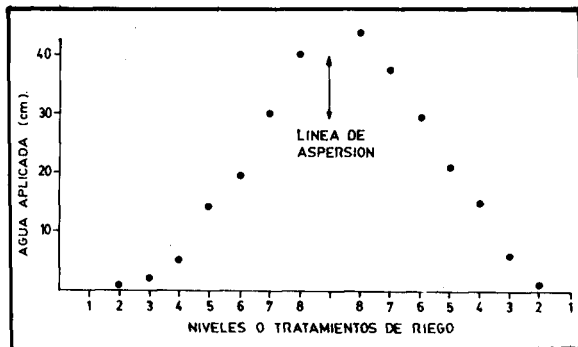


FIGURA 1. Distribución de la cantidad de agua aplicada hacia ambos lados de la línea simple de aspersión, utilizada en los ensayos sobre extracción del suelo por los porotos.

FIGURE 1. Distribution of the amount of water applied towards both sides of the simple irrigation line, used for the trials on extraction from the soil by beans.

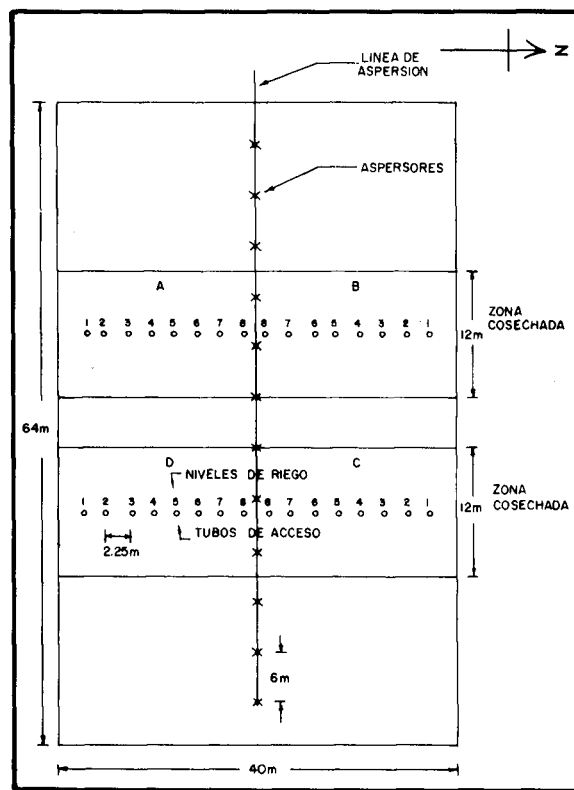


FIGURA 2. Diagrama del experimento con porotos Gloria Pink, 1976.

FIGURE 2. Diagram of the experiment with Gloria Pink beans, 1976.

El agua aplicada se midió con pluviómetros estándares, instalados sobre los tubos de acceso, que fueron elevándose a medida que el cultivo crecía en altura, con el fin de mantenerlos a la altura del follaje.

En 1977 (Figura 3), se agregó una variable, utilizando un suelo que había sido salinizado artificialmente en 1973; se tomaron muestras al comienzo y final de la temporada de cultivo, con el fin de determinar la conductividad eléctrica del extracto de saturación, en las diferentes profundidades del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Disminución del contenido de humedad, en relación al tiempo y la profundidad en el perfil del suelo, a diferentes niveles de riego

El contenido de humedad en el suelo será representado en términos de altura de agua (cm de agua/30 cm de profundidad de suelo). Para transformar a términos de porcentaje de humedad en base a volumen (cm³ de agua/cm³ de suelo), deben dividirse dichos valores por 30.

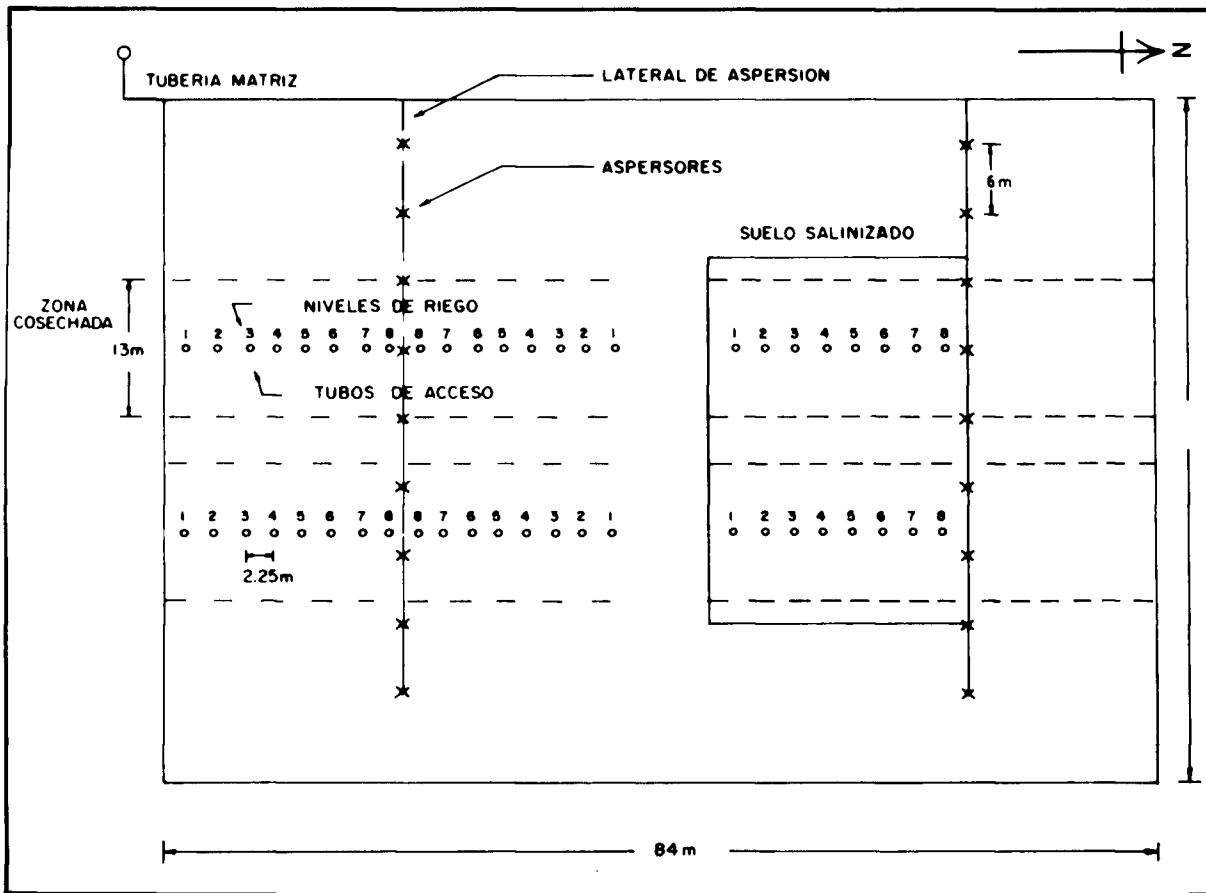


FIGURA 3. Diagrama del experimento con porotos Light Red Kidney, 1977.
 FIGURE 3. Diagram of the experiment with Light Red Kidney beans, 1977.

Cada punto en las figuras 4 y 5, representa un promedio de mediciones en 4 tubos de acceso, que corresponden a un mismo tratamiento de riego y que recibieron cantidades de agua similares. Estos cuatro lugares estuvieron a la misma distancia de la línea de aspersión.

La Figura 4 muestra el contenido de humedad en el perfil, a lo largo del período de crecimiento del cultivo durante la temporada 1977, en un suelo no salino. Se puede observar que los valores más altos de capacidad de campo se encuentran a 120 y 150 cm de profundidad, lo cual corresponde a las profundidades que presentan los valores más altos de extracción de agua del suelo. Los valores menores para la cantidad de agua extraída se observan en los primeros 30 cm. Acevedo (1975) y Fereres-Castiel (1976), trabajando con maíz y sorgo, respectivamente, en un suelo muy similar, encontraron que la mayor cantidad de agua extraída ocurrió entre 150 y 180 cm. En ambos casos, estas profundidades también correspondieron a los estratos con los valores más altos de capacidad de campo, ubicados justo sobre el de arena.

La distancia entre puntos, para un correspondiente estrato de suelo, indica la cantidad de agua extraída (cm/día) durante cada período de tiempo. Se determinó que a medida que aumentaba la cantidad de agua aplicada, la extracción aumentó en todos los estratos, lo que se manifiesta al comparar ambas partes de la figura (T-II y T-VIII) en cuanto a la separación entre las líneas, numeradas según los días post-emergencia.

Extracción de humedad bajo condiciones de pre-riego inadecuado

Como se indicó previamente, accidentalmente una parte del experimento del año 1976 recibió muy poca agua durante el riego de pre-siembra, lo que dejó muy secos los estratos inferiores del perfil. Su efecto, en la forma de extracción de humedad, puede apreciarse en la Figura 5. Al comparar estos tratamientos con aquellos regados apropiadamente (Figura 4), se destacan dos diferencias importantes:

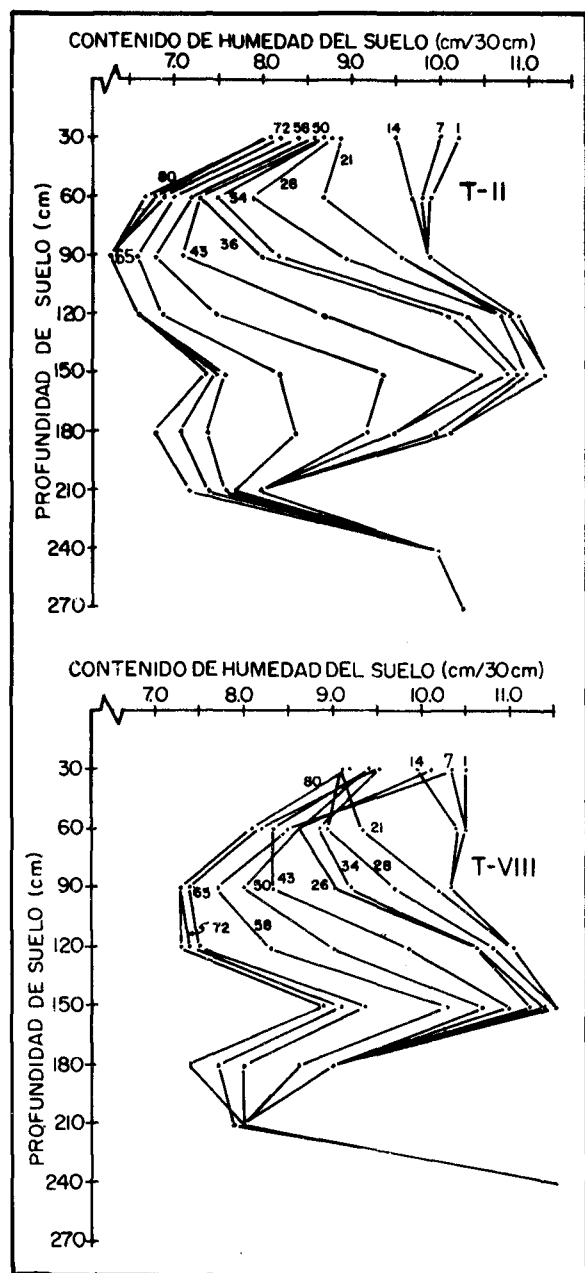


FIGURA 4. Variación de la humedad en el perfil del suelo sembrado con porotos L.R. Kidney. T-II, tratamiento húmedo; T-VIII, tratamiento seco. 1, 7, 14días desde emergencia.

FIGURE 4. Soil humidity variation in the soil profile seeded with L.R. Kidney beans. T-II, humid treatment; T-VIII, dry treatment. 1, 7, 14 days after emergence.

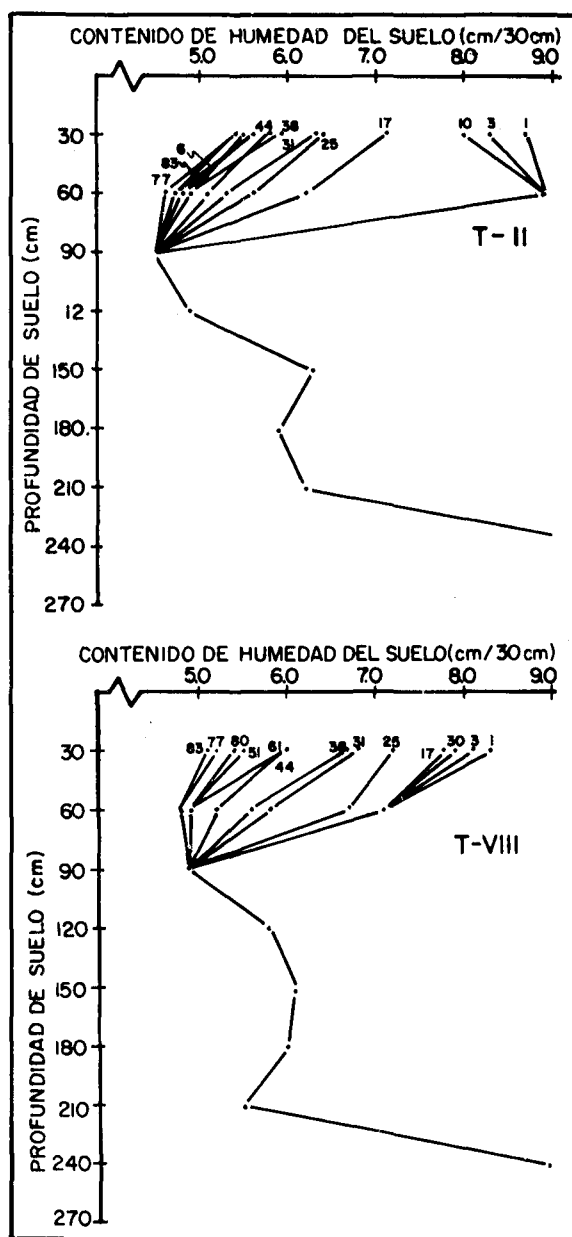


FIGURA 5. Variación de la humedad en el perfil del suelo sembrado con porotos L.R. Kidney, con riego insuficiente de pre-siembra. T-II, tratamiento húmedo; T-VIII, tratamiento seco. 1, 3, 10 días desde emergencia.

FIGURE 5. Soil humidity variation in the soil profile seeded with L.R. Kidney beans, with insufficient pre-planting irrigation. T-II, humid treatment; T-VIII, dry treatment. 1, 3, 10 days after emergence.

a. En el caso del riego de pre-siembra insuficiente, la tasa de extracción de agua fue superior durante el período de 10 a 25 días después de la siembra. Sin embargo, la evapotranspiración total durante la estación de crecimiento fue muy inferior, debido a que el agua se extrajo sólo de los primeros 90 cm.

b. Igualmente, se produjo una extracción más intensa del agua disponible (95–100%) a los 30 y 60 cm de profundidad. Esto pudo deberse a una mayor concentración de raíces en los estratos superiores, o a la menor cantidad de agua disponible en los estratos inferiores.

Posible diferenciación varietal, en la extracción de agua del perfil de suelo

La Figura 6 presenta la distribución de la extracción de agua por las raíces, en el tiempo y en los diferentes estratos del perfil. Los valores aparecen expresados en términos relativos: extracción de agua en un estrato/extracción total en el perfil del suelo. Se aprecia que ambas variedades siguen una forma similar de extracción.

Porcentaje de disminución de la humedad aprovechable en el perfil del suelo

En el Cuadro 1, se indican los porcentajes de agua extraída de cada estrato, en relación a la cantidad total extraída del perfil. Esta información muestra que el 64 a 78% del agua se extrajo desde los primeros 105 cm de suelo, en el caso de la variedad Pink y sólo el 52 a 59%, por la variedad L.R. Kidney, en el suelo normal. Una posible causa de esta variación pudo ser la diferencia en capacidad de campo (CC) entre ambas parcelas experimentales; las parcelas con porotos L.R. Kidney tuvieron valores de CC considerablemente mayores, especialmente en los estratos más bajos. Estos valores se refieren a la CC al inicio del experimento.

Disminución acumulada de la humedad del suelo a través del perfil y de la estación de crecimiento del cultivo

La disminución de contenido de humedad del suelo en los diferentes estratos del perfil, también varió en los distintos tratamientos de riego. Como se esperaba, a medida que se aumentó la cantidad de agua aplicada, la disminución del contenido de humedad del suelo fue menor. Este efecto se manifestó en los tres casos estudiados, como puede observarse en la Figura 7, que muestra la extracción total de agua del suelo durante la estación de crecimiento, en los diferentes tratamientos de riego para las dos variedades de poroto en suelo normal y para la variedad L.R. Kidney, en suelo salino.

En la Figura 8, se observa la disminución acumulada del contenido de humedad en la estación de crecimiento, desde el perfil de suelo, graficada en función del tiempo. Todas las cruvas tienen una forma sigmoide y muestran claramente las diferencias entre tratamientos de riego. Es interesante notar la diferencia de pendiente entre las dos variedades.

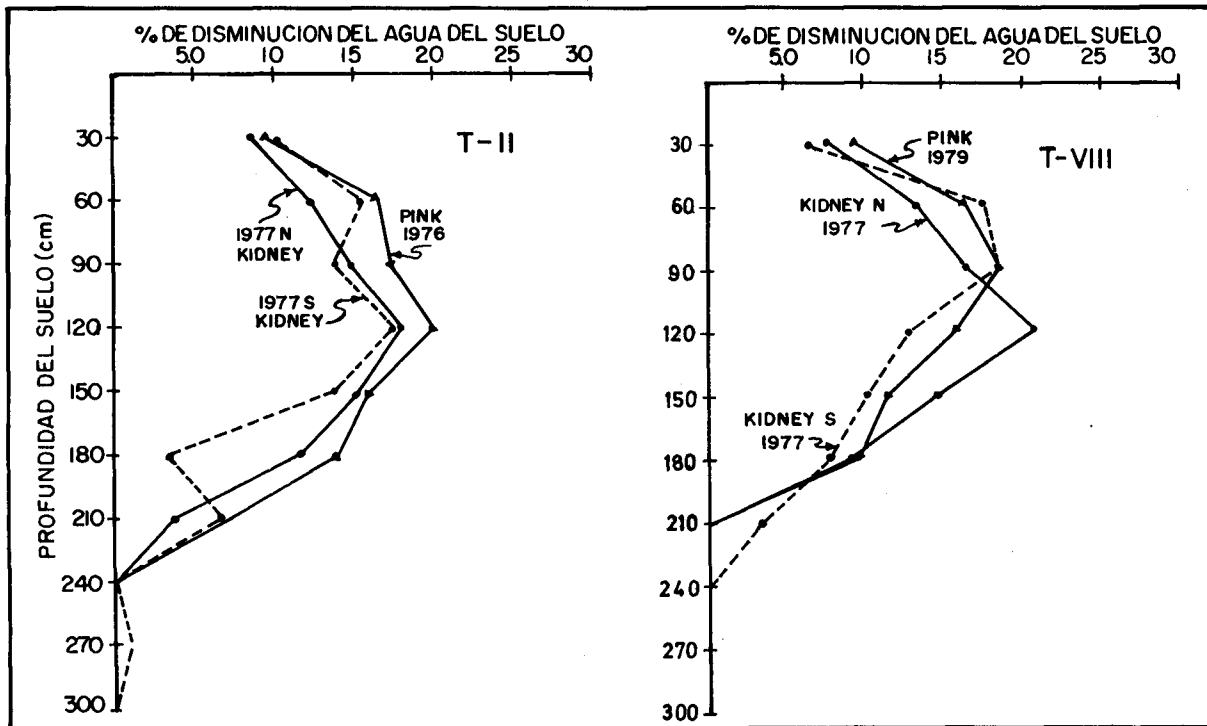


FIGURA 6. Porcentaje de disminución de la humedad del perfil del suelo, según variedad de porotos y tratamiento de riego. T-II, húmedo; T-VIII, seco. N, suelo normal; S, suelo con sales.

FIGURE 6. Percentage of depletion of humidity in the soil profile, according to bean variety and irrigation treatment. T-II, humid; T-VIII, dry. N, normal soil; S, salt added to the soil.

CUADRO 1. Disminución de la humedad en cada estrato de suelo, expresada como porcentaje del total para el perfil

TABLE 1. Total water depleted in each soil layer, expressed as percentage of the total extracted from the soil profile

Profundidad del suelo	Pink				Kidney N.				Kidney S.			
	II	IV	VI	VIII	II	IV	VI	VIII	II	IV	VI	VIII
0- 15	16	18	22	29	16	16	21	21	19	24	22	31
15- 45	14	14	14	14	9	9	8	7	10	12	11	8
45- 75	18	18	21	18	12	14	14	14	15	16	17	17
75-105	18	14	21	17	15	17	16	16	13	15	17	15
0-105	66	64	77	78	52	56	59	57	57	67	67	71
105-135	14	12	11	11	18	19	20	20	17	19	17	14
125-165	7	10	6	5	15	14	13	14	13	10	10	7
165-195	9	10	6	4	12	9	6	9	13	6	7	7
105-195	30	32	23	20	45	42	39	43	43	35	34	28
195-225	5	6	0	1	4	2	2	5	6	0	0	2
225-255	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
195-255	5	6	0	1	4	2	3	5	6	0	0	2

II-IV-VI-VIII: Tratamientos considerados, de menor humedad (II) a mayor humedad (VIII) en el suelo.

N: Suelo Normal; S: Suelo Salino.

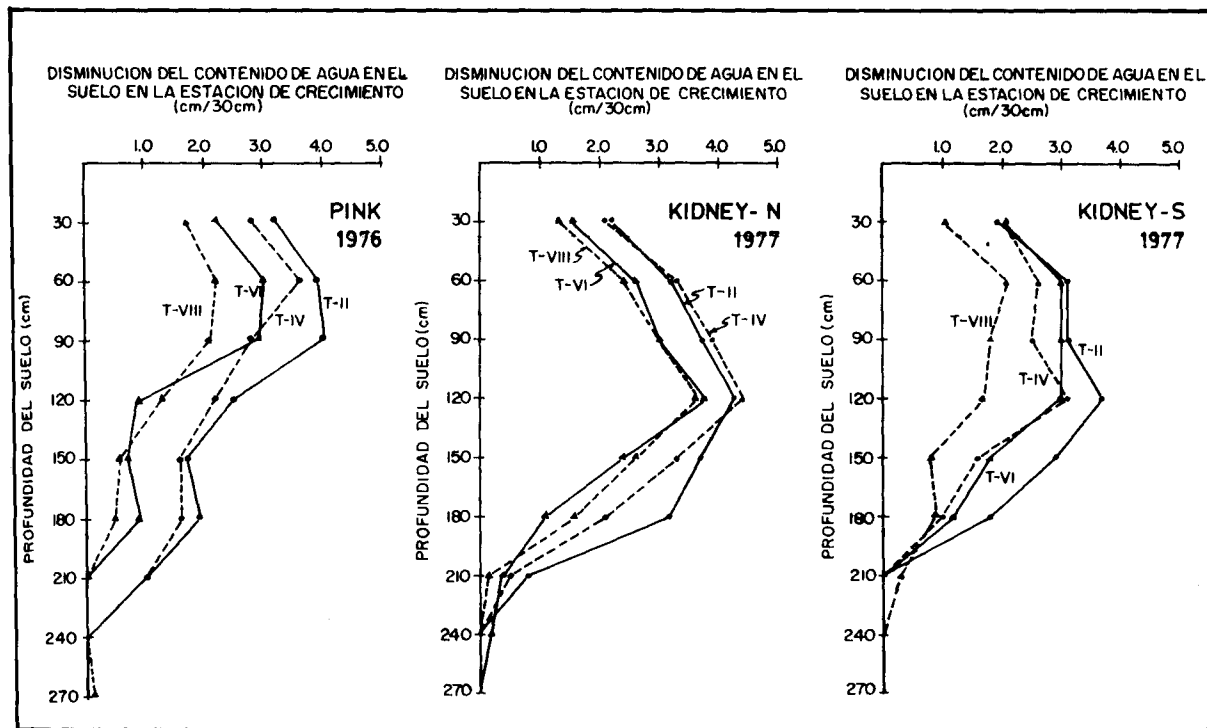
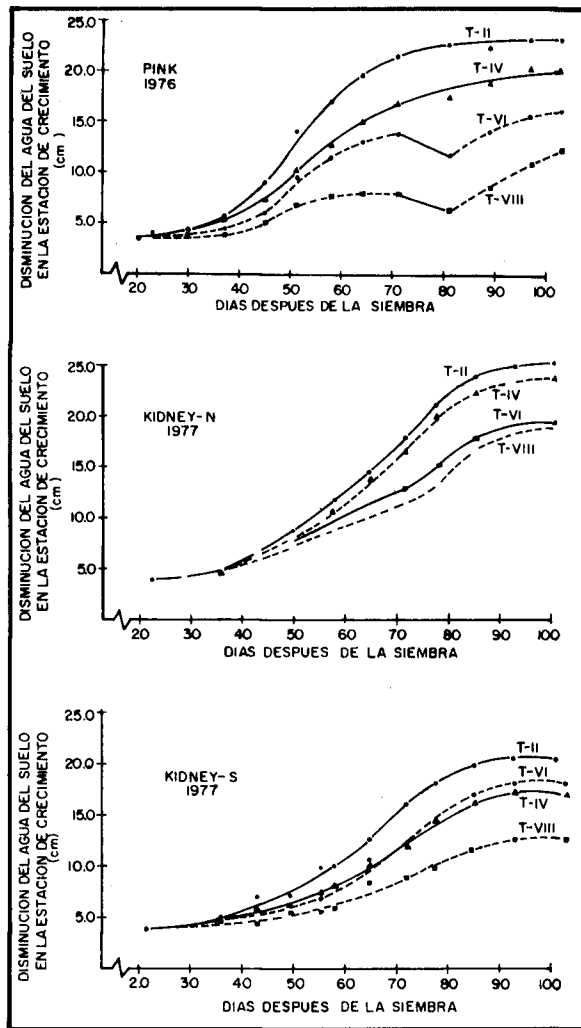


FIGURA 7. Disminución del contenido de agua del perfil del suelo, según variedad de porotos, tratamiento de riego (T-II, húmedo; T-VIII, seco) y nivel de sales en el suelo (N, normal; S, salinizado).

FIGURE 7. Depletion of the water content in the soil profile, according to bean variety, irrigation treatment (T-II, humid; T-VIII, dry), and level of salts in the soil (N, normal; S, salt added to the soil).



Como se indicó previamente, los dos experimentos fueron efectuados en años diferentes; por lo tanto, el clima y las características de suelo pudieron influir también en las variaciones de las pendientes de estas curvas. Como era de suponer, el tratamiento salino mostró una menor disminución de agua que el suelo normal.

FIGURA 8. Disminución acumulada del agua del suelo en el tiempo, según variedad de porotos, tratamiento de riego (T-II, húmedo; T-VIII, seco) y nivel de sales en el suelo (N, normal; S, salinizado).

FIGURE 8. Accumulated depletion of soil water with time, according to bean cultivar, irrigation treatment (T-II, humid; T-VIII, dry), and salt level in the soil (N, normal; S, salt added to the soil).

RESUMEN

Haciendo uso de una sonda de neutrones, se midió el contenido de agua en el perfil de un suelo sembrado con la variedad de porotos Gloria Pink, durante la temporada 1976, y con la variedad Light Red Kidney, en un suelo salino y uno normal en 1977. Se establecieron 8 tratamientos de riego, utilizando líneas simples de aspersión. En el presente trabajo, se informa sólo sobre algunos tratamientos, con el fin de facilitar la discusión, ya que los tratamientos adyacentes mostraron diferencias muy pequeñas.

Usando los valores señalados, se estimó la extracción de agua por las raíces del cultivo, la que fue analizada en relación al tiempo, profundidad de suelo, tratamiento de riego, variedad, efecto de suelo (capacidad de campo) y nivel de salinidad del suelo.

Del trabajo se desprenden las siguientes conclusiones:

- El cultivo del poroto extrajo agua hasta la profundidad de 225 cm y entre el 20 y 50% provino de estratos inferiores a 105 cm. Las mayores disminuciones del contenido de agua del suelo se produjeron en los estratos que tenían valores de capacidad de campo más altos. De los primeros 15-45 cm, se extrajo relativamente poca agua.
- La extracción de agua es un proceso muy dinámico, que varía con el tiempo a través del período vegetativo, con la profundidad del suelo, cantidad de agua presente en el perfil y concentración de sales. A medida que aumentó la cantidad de agua aplica-

da, la cantidad total y la tasa de disminución del contenido de agua en el suelo aumentaron, como consecuencia de una mayor extracción por las raíces.

— El exceso de sales en el perfil produjo una reducción en la variación del contenido de humedad, de 34% promedio en el tratamiento más húmedo y de 20% en el que no recibió agua de riego.

LITERATURA CITADA

- ACEVEDO, E. 1975. The growth of maize (*Zea mays* L.) under field conditions as affected by its water relations. University of California, Davis. 253 p. (Ph.D. dissertation).
- BAHRANI, B. and TAYLOR, S.A. 1961. Influence of soil moisture potential and evaporative demand on the actual evapotranspiration from an alfalfa field. *Agronomy J.* 53: 233–236.
- CALDWELL, M.M. and FERNANDEZ. 1975. Dynamic of Great Basin shrub root system. En: N. E. Hadley (ed.), *Physiological adaptations of desert organisms*. p.: 38–51.
- DENMEAD, O.T. and SHAW, R.T. 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agronomy J.* 52: 272–274.
- EAGLEMAN, J.R. and DECKER, W.L. 1965. The role of soil in evapotranspiration. *Agr. J.* 57: 626–629.
- EL NADI, A., BROUWER, H.R., and LOCHER, J.Th. 1969. Some responses of the root and the shoot of *Vicia fabae* plants to water stress. *Neth. J. Agric. Sci.* 17: 133–142.
- FERERES—CASTIEL, E. 1976. Growth, development and yield of sorghum in the field under variable water supply. University of California, Davis. 247 p. (Ph.D. dissertation).
- HSIAO, T.C. and ACEVEDO, E. 1974. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology* 24: 419–470.
- HSIAO, T.C., ACEVEDO, E., FERERES, D.W., HANDERSON. 1976. Water stress, growth and osmotic adjustment. *Phil. Trans. R. Soc. London B*—273: 479–500.
- KLUTE, A. and PETERS, D.B. 1969. Water uptake and root growth. En: *Root Growth*, W.J. Wittington (ed.). Plenum Press, New York. p.: 105–135.
- NEUMAN, J.F. 1974. Root density—water relations in *Phaseolus vulgaris* cultivar Sutter Pink. University of California, Davis. 48 p. (Master of Science thesis).
- NIELSEN, D.R., BIGGAR, J.W. and EHR, K.T. 1973. Spatial variability of field—measured soil water properties. *Hilgardia* 42: 215–259.
- PIERCE, L.T. 1958. Estimating seasonal and short—term fluctuations in evapotranspiration from meadow crops. En: *American Meteorological Society Bulletin* 39
- ROSE, C. W. and STERN, W. S. 1967. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as a function of depth and time. *Aust. J. Soil Res.* 5: 11–19.
- SALIM, M.H., TODD, G.W., and SCHLEHUBER, A.M. 1965. Root development of wheat, oats and barley under conditions of soil moisture stress. *Agronomy J.* 57: 603–607.
- SLATYER, R.O. 1967. *Plant water relationships*. London, Academic Press. 366 p.
- TAYLOR, H.M. and RATLIFF, L.F. 1969. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. *Soil Sci.* 108: 113–119.
- THORNTHWAITE, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38: 55–94.
- TROUGHTON, A. 1957. The underground organs of herbage grasses. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, Bull. Nº 421.
- VEIHMEYER, F. J. and HENDRICKSON, A. H. 1958. Soil moisture as an indication of root distribution in deciduous orchards. *Plant Physiol.* 13: 169–177.