

INFLUENCIA DE LA "CUOTA DE RIEGO" EN LA CANTIDAD DE AGUA ALMACENADA EN EL SUELO *

LEON NIJENSOHN (') CARLOS J. GRASSI (") HÉCTOR PILASI (''')

SUMMARY. - *The influence of the depth of water applied in the water storage capacity.*

It is shown that Field Capacity after irrigation is not reached when the depth of water applied is calculated after the method of "exact refilling" (field capacity minus the moisture content before irrigation). To obtain a full available water storage it is necessary to apply an extra depth of water, that in the reported soil and for a 0,40 m soil layer was 25 % more than the calculated volume.

It is pointed out the lack of a net zone of separation between the wet and the dry layers and it is deducted the possibility of advance of the wet front at water stresses higher than that corresponding to the Field Capacity.

It is discussed the importance of the conclusions obtained in connection with: 1° the irrigation technique in zones of ample time periods between irrigations; 2° irrigations trials, when these are intended for obtaining moisture values of field capacity after each water application.

The uneven depth of water distribution, even in layers of homogeneous texture and the possibility of influence of the different water free energies in the soil upon the activity of the root system, is pointed out.

Introducción

La cuota de riego, es decir, la cantidad de agua a aplicar en cada

* Trabajo realizado con una subvención del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas en la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

(') Ing. Agr. Profesor Titular de Edafología, Director del Instituto de Suelos y Riegos.

('') Ing. Agr. Profesor Titular de Hidrología Agrícola, Jefe de Sección del Instituto de Suelos y Riego.

('''') Enól., Investigador del Instituto de Suelos y Riego.

oportunidad, se calcula generalmente tomando en consideración los siguientes factores: la capacidad máxima de almacenamiento de agua por el suelo o "Capacidad de Campo" ("C. C."); la humedad inicial de suelo antes del riego ("Hi"); la densidad aparente del suelo ("Da") y la profundidad de la capa de suelo que se desea mojar ("P"). La fórmula que se aplica es:

Cuota de Riego (m^3/Ha) = $(C.C.\% - Hi\%) \cdot Da \cdot P \cdot m \cdot 10.000 \cdot m^2 \cdot 0,01$ (I) donde la diferencia entre la capacidad de campo y humedad inicial (C.C.—Hi), cuando se expresa en mm de altura de agua, corresponde al concepto de "déficit de humedad" introducido primeramente por SCHOFIELD y PENMAN (1) y desarrollado por la escuela inglesa (2).

De modo que, en esencia, y con excepción de los casos en donde por razones de salinidad del suelo o del agua de riego empleada se busca de intento provocar un lavado por percolación, la cuota de riego está regida por el concepto de la *reposición*, o sea: el agregado de agua en cantidad estrictamente necesaria para llevar a cero el déficit de humedad y alcanzar ese límite máximo conveniente que se considera es la capacidad de campo.

Este razonamiento sería correcto siempre que se cumpla un importante supuesto: que la capacidad de campo constituya una propiedad del suelo cuyo valor, una vez determinado experimentalmente, se mantenga constante y se pueda reproducir con la cuota de riego calculada por el método de la reposición.

Del examen de la literatura pertinente surgen serias dudas sobre la validez del fundamento del método de la reposición, sintenzado por la fórmula (I), y en el presente trabajo se ha tratado de contribuir a aclarar experimentalmente algunos puntos de importancia práctica, tales como:

- ¿Varía la capacidad de campo, dentro de un horizonte homogéneo, en función de pequeñas diferencias de profundidad?
- ¿Se alcanza la C. C. en todos los puntos de la profundidad deseada, con las cuotas de riego calculadas por el método de la reposición?
- ¿Varía y cómo la cantidad de agua retenida por el suelo en función de la magnitud de riego aplicada?

Antecedentes

Dos tipos generales de ensayos se encuentran descritos en la literatura para abordar el problema de la retención y distribución de agua por y en el suelo: 1º) aplicando agua de arriba hacia abajo y 2º) aplicando agua de abajo hacia arriba. El segundo caso interesa sólo, en la práctica, en suelos con presencia de napa freática cercana y/o donde se aplique el método de la subirrigación. El primer caso, que

es el más frecuente en la práctica agrícola y sobre el que nos ocuparemos en este trabajo, es el que se plantea en los suelos mojados por infiltración gravitacional, ya sea de agua de lluvia o de riego.

De la profusa literatura, muchas veces contradictoria, la mayor parte de ella citada y revisada en los trabajos monográficos de TSCHAPEK (3), RICHARDS y WADLEIGH (4), WEIHMEYER (5), se pueden sumarizar los siguientes aspectos:

a. - *Concepto de Capacidad de Campo*: (Field Capacity) de acuerdo a la definición de WEIHMEYER y HENDRICKSON (6) sería "el contenido de agua de la parte húmeda del suelo cuando el exceso de agua ha drenado y cuando la velocidad de movimiento hacia abajo ha disminuido hasta casi cesar".

Prácticamente se la considera como el contenido de agua después de dos o tres días del riego o lluvia en condiciones de evaporación impedida (7). En el valor y uniformidad de la capacidad de campo en un determinado perfil influirían diversos factores.

b. - *Influencia de la profundidad de la muestra*: (distancia vertical a la superficie). De un grupo de experiencias parecería desprenderse la independencia del valor de C. C. con la profundidad, de lo que resultaría un cambio abrupto entre capa mojada y seca. Según WEIHMEYER 1928 (8), al mojar un suelo se establecería en él una zona húmeda que a igualdad de textura tendría en equilibrio el mismo contenido de agua (capacidad de campaña) y a continuación inmediata se encontraría la zona seca con la humedad anterior a la lluvia o riego. Otros ensayos, en cambio, demostrarían que, siempre a igualdad de textura, las capas superficiales retendrían más agua que las profundas. Se ha interpretado como que esta "agua suspendida", es consecuencia de un riego con insuficiente agua como para mojar todo el perfil y que no ocurre este fenómeno cuando se aplica exceso de agua.

c. - *Influencia de la profundidad total mojada*: COLMAN (9) encontró que el contenido de humedad de una capa de suelo, después de una lluvia o riego, dependía de la profundidad total mojada del perfil, hasta llegar a un máximo que corresponde a la verdadera capacidad de campo. Colman llamó "zona de mojamiento" (wetting zone) a la capa de suelo cuya humedad es función de la profundidad mojada. En los suelos franco-arenosos, en los que trabajó, la "zona de mojamiento" disminuye progresivamente a medida que aumenta la profundidad total mojada. Así, por ejemplo: se necesitaba mojar 0.75 m para que la capa superficial alcanzase su máximo contenido de humedad; pero bastaba una penetración adicional de otros 0.30 m para que los 0.75 m superiores alcanzaran la capacidad de campo. La explicación hipotética sería la gradual disminución de la velocidad de drenaje, creada por el menor gradiente de potencial de tensión de agua que se logra con la penetración más profunda.

d. - *Influencia de la heterogeneidad del perfil*: La existencia de capas subyacentes de textura gruesa, aumentaría la capacidad de campo de los horizontes superiores por disminución de la transmisión capilar; el mismo efecto tendría, lógicamente, la existencia de capas de permeabilidad nula o muy reducida, pero en este caso ya no se puede hablar de verdadera capacidad de campo pues para el establecimiento de la misma se presupone condiciones de libre drenaje.

e. - *Influencia de la textura y estructura*: mientras algunos autores indican que a los 3 a 4 días después del riego, se llega a un equilibrio en el agua retenida por el suelo, otros (9) opinan que la capacidad de campo es un punto en la curva de drenaje capaz de variar continuamente con el tiempo. Explicaría esta contradicción el hecho de que el equilibrio rápido se alcanzaría en los suelos de textura fina y con buena agregación, donde hay dos tipos bien distintos de poros: grandes entre los agregados y finos en los terrones. En cambio, en los suelos donde el decrecimiento del tamaño de poros es gradual no se observa una discontinuidad marcada en la curva de drenaje (7).

f. - *Influencia del grado de humedad previo*: TSCHAPEK (3) manifiesta que cuanto más seco es el suelo antes de mojarse, más agua queda suspendida en la parte superior, fenómeno que atribuye a "histéresis de mojadura". Todos estos factores de variación llevan a opinar que "la capacidad de campo es un concepto útil para propósitos prácticos, pero para trabajos científicos los casos individuales deben ser examinados" (4). Nuestro parecer es de que aún desde el punto de vista práctico —caso precisamente de la determinación de la cuota de riego— conviene llegar a un mayor conocimiento de los factores que determinan la capacidad de campo y su variación.

Material y método

Para estudiar la distribución de la humedad en el suelo, con posterioridad al riego, se realizaron diferentes ensayos de laboratorios y de campo, los que se considerarán a continuación.

Ensayos de laboratorio

Se utilizaron al efecto columnas de suelo dispuestas en tubos de chapa de hierro galvanizado desmontables longitudinalmente, lo que permitió extraer muestras con toda prolijidad y a distancias muy cortas.

Dichos tubos, contruidos especialmente a los efectos de este trabajo, son de 1,00 y de 0,50 m de largo y 0,10 m de diámetro. Su sección transversal está integrada por la unión de dos semicírculos

delimitados por la lámina metálica, unidos longitudinalmente por medio de sus respectivas pestañas (Fig. 1).

Para evitar la pérdida de agua a través de la unión de las dos secciones de tubos, se colocaron juntas de goma al unir las pestañas y luego las posibles sonas de filtración se recubrieron con parafina a fin de asegurar la hermeticidad del cierre.

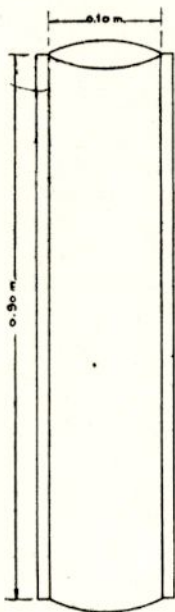


Fig. 1 a) - Columnas desarmables.

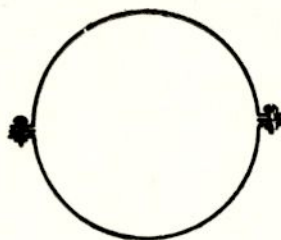


Fig. 1 b) - Sección transversal.

Los ensayos se realizaron con columnas de suelo de 0,30 0,50 y 0,90 m, aplicándose dos tratamientos diferentes, a saber: a) con agua insuficiente para drenar; b) con agua suficiente para drenar.

En todos los casos se empleó tierra perfectamente homogeneizada, pasada por tamiz de 2 mm, la que se compactó levemente a medida que se la fue colocando en el tubo. De esta manera se obtuvo satisfactoria uniformidad a todo lo largo del tubo, en cuanto a textura, estructura y grado de humedad inicial se refiere.

La distribución de la humedad en el perfil se observó una vez concluido el drenaje: a las 72 horas en algunos casos y a los 7 días en otros, período durante el cual se cubrió la superficie con una lámina de plástico para evitar las pérdidas por evaporación directa.

Para la extracción de las muestras se desmontó un sector del tubo, quedando así la columna de suelo totalmente al descubierto lo que



Lámina I - Referencias en el texto.

permitió realizar el muestreo con gran cuidado y a intervalos de 3, 5 y 10 cm según los casos.

En los ensayos se empleó tierra de textura franca perteneciente al suelo de la finca "San Antonio" de la Facultad de Ciencias Agrarias en Chacras de Coria, con Humedad Equivalente, determinada en centrifuga igual a 20,1 % y tierra franco limosa de la finca "General San Martín" de la Facultad de Ciencias Agrarias, en el Distrito "El Sauce", cuya Humedad Equivalente era del 27 %.

Ensayos de campo

Sobre la base de los resultados obtenidos en laboratorio, se plantearon dos series de experiencias de campo: unas aplicando el agua "por inundación", o sea cubriendo con la lámina la superficie íntegra del terreno, y otras con riego "por surco", en las que se cubre el terreno sólo parcialmente.

En ambos tipos de ensayos la variante fue la cantidad de agua aplicada, expresada en altura de la lámina, en el primer caso, y por la diferente duración del riego en el segundo.

a) *Con riego "por inundación".*

No obstante realizarse directamente en el campo, el ensayo abarcó una superficie pequeña a fin de asegurar máxima uniformidad en cuanto a las condiciones físicas del terreno.

Por medio de un aro metálico de 0,60 m de diámetro y 0,18 m de altura, se aisló una superficie de terreno perfectamente nivelada para evitar la filtración lateral del agua y concretar el ensayo a un volumen de tierra estrictamente definido; se hincó a golpes el aro hasta 0,05 m de profundidad y se hizo a su alrededor un bordo de tierra, el que limitó una corona concéntrica de dos metros de diámetro. Tanto a la corona como a la superficie delimitada por el aro se suministró la misma altura de agua (Lámina N° 1). De esta manera el volumen de tierra comprendida por la corona ofició de regulador, pudiendo en consecuencia aceptarse que el agua descendió uniformemente en toda la superficie incluida en el ensayo.

El primer ensayo, con la técnica detallada, tuvo por fin determinar la capacidad de campaña de una profundidad de suelo de 0,40 m. Para ello, a un terreno franco limoso del campo de la Facultad que tenía muy bajo grado de humedad inicial (ver tabla II) se agregó una cantidad de agua —expresada en altura— de 200 mm que podía suponerse excesiva para el tipo de suelo en consideración y para la profundidad planteada.

Habiéndose determinado la humedad antes del riego cada 5 cm de profundidad, se extrajeron las muestras a las 72 horas después

del riego con el mismo intervalo; es decir, ocho muestras para los 0,40 m del horizonte considerado.

A fin de disminuir los errores inherentes al muestreo, el mismo abarcó las cuatro caras de cada calicata excavada en el aro del centro, es decir, treinta y dos muestras en total. Se promediaron los datos correspondientes a la misma posición en el perfil.

Con los datos obtenidos se calculó la cantidad de agua necesaria para llegar a dicho suelo al grado de humedad correspondiente a capacidad de campaña y se plantearon dos tratamientos de reposición de humedad para el mismo suelo: a) Reposición exacto de acuerdo a la fórmula (I); b) Riego con exceso de agua: cuota exacta más un 25 %.

En ambos casos, el relevamiento de humedad edáfica con posterioridad al riego se realizó en la forma ya señalada para la capacidad de campaña, extendiéndose el relevamiento hasta completar la profundidad humedecida.

En otro sector del mismo tipo de suelo se observó, asimismo, la influencia de la humedad inicial en diferentes puntos del perfil en la distribución del agua con posterioridad al riego; para ello, en parcelas de distinta humedad inicial de un terreno cultivado con viña, se determinó la distribución de humedad —antes y después del riego— en las tres capas siguientes: 0 a 20 cm, 20 a 40 cm y 40 a 60 cm.

b) Con "riego por surco"

En el curso de una experiencia para determinar la relación existente entre la carga de agua y el avance del frente húmedo en el surco (10), se extrajeron muestras de la sección humedecida, transversal al surco, y a diferentes profundidades.

Para ello, en surcos de 10 m de longitud nivelados "a cero" y de sección perfectamente uniforme, se mantuvo, en diferentes tramos

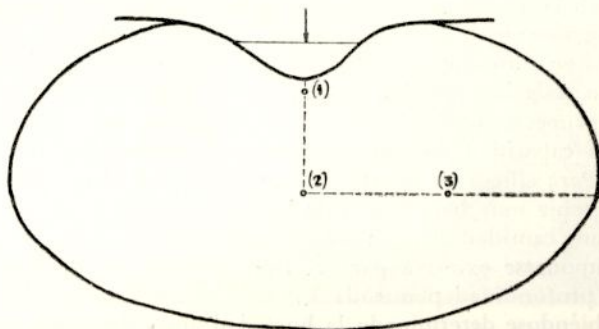


Fig. 2. - Ubicación de las muestras en la sección transversal humedecida.

TABLA N° 1
EXPERIENCIAS DE LABORATORIO

E N S A Y O S									
N° 1		N° 2		N° 3		N° 4		N° 5	
Profundidad cm	Humedad %	Profundidad cm	Humedad %	Profundidad cm	Humedad %	Profundidad cm	Humedad %	Profundidad cm	Humedad %
0 - 3	25,7	0 - 3	22,3	0 - 2	23,3	0 - 10	32,5	0 - 10	39,0
3 - 6	23,8	3 - 6	20,2	2 - 5	21,1	10 - 20	31,0	10 - 20	39,6
6 - 9	23,9	6 - 9	19,8	5 - 8	20,2	20 - 30	28,7	20 - 30	41,5
9 - 14	23,6	9 - 12	19,6	8 - 11	18,8	30 - 40	25,2	30 - 40	42,0
14 - 19	22,4	12 - 15	19,3	11 - 14	17,5	40 - 50	21,2	40 - 50	43,7
19 - 23	20,0	15 - 20	17,6	14 - 17	16,4	50 - 60	19,0	50 - 60	42,5
23 - 25	16,8	20 - 25	16,1	17 - 21	15,1	60 - 70	19,4	60 - 70	45,0
25 - 27	15,4	25 - 29,5	13,5	21 - 24	14,5	70 - 80	18,6	70 - 80	44,5
27 - 29	13,5			24 - 27	13,7	80 - 90	18,4	80 - 90	42,3
29 - 29,5	11,9			27 - 30	12,6				
				30 - 35	11,2				
				35 - 40	9,9				
				40 - 50	8,7				

Ensayos Nros. 1, 2 y 3: Humedad de equilibrio con agregado de cantidad de agua insuficiente para drenar. Suelo franco Chacras de Coria. - Humedad equivalente 20,1 %. Humedad inicial: 2,6 % los Nros. 1 y 2; 10,4 % el N° 3.

Ensayo N° 4: Humedad al cabo de 72 horas con agregado de cantidad de agua insuficiente para drenar. Suelo franco limoso "El Sauce". Humedad inicial 13,8 %. Humedad equivalente 27 %.

Ensayo N° 5: Idem al N° 4 con agregado de agua en exceso para drenar. Volumen drenado: 18,3 % del agregado total.

de los mismos, una carga constante de agua durante 2 horas, 4 horas y 6 horas. De esta manera y por vía de la diferente duración del riego, la variante fue también la cantidad de agua aplicada. Cada tratamiento se repitió cuatro veces, obteniéndose en consecuencia muestras de doce calicatas.

Las muestras se extrajeron sobre dos ejes normales, uno vertical y otro horizontal. En el vertical: a 5 cm de la solera del surco, en la mitad de la distancia entre la solera y el avance del frente húmedo y en el mismo frente. Sobre el eje horizontal, en cambio, se extrajeron las muestras con el mismo criterio a partir del punto medio del eje vertical (Fig. 2).

Resultados

Ensayos de laboratorio

En la Tabla 1 se consignan los datos correspondientes. Los ensayos Nros. 1, 2, 3 y 4, se realizaron con cantidad de agua insuficiente para drenar: la variante consistió en la profundidad de la columna, que fue de 0,30 m en el N° 1 y N° 2, de 0,50 m en el N° 3 y de 0,90 en el N° 4.

El ensayo N° 5 se realizó en cambio con exceso de agua, a fin de lograr un determinado volumen de drenaje.

El resultado de estos ensayos muestra que cuando la cantidad de agua es insuficiente para drenar, existe un orden decreciente de humedad desde arriba hacia abajo, lo que se repite con columnas de diferentes profundidades.

Asimismo se observa que el suelo se humedece con porcentajes de agua muy inferiores a lo que podría entenderse por capacidad de campaña. Así en los ensayos N° 1 y N° 2, con una humedad inicial del 2,6 % se alcanzó a los 29,5 cm y 25 cm, respectivamente, valores de humedad del 11,9 % y 13,5 % o sea incrementos del 9,3 % y de 10,9 %, aun cuando en la primera capa considerada (0-3 cm), dicho aumento fue del 23,1 % y de 19,7 %.

En el tratamiento con cantidad de agua en exceso, con un volumen de drenaje que representó el 18,3 % del agua agregada, se consiguió para la misma tierra niveles de humedad más altos en todo el perfil. Además, mientras que con limitada cantidad de agua se mantiene la gradación decreciente de humedad que se ha señalado, al agregar exceso de agua el sentido de variación del grado de humedad es inverso, aun cuando las diferencias extremas son de mucho menor magnitud.

Ensayos de campo

La determinación de la capacidad de campaña con suficiente exceso de agua —total 200 mm— arrojó los resultados que se consignan en el ensayo N° 1, Tabla II.

Sobre la base de la humedad antes del riego y con una densidad aparente promedio de 1,4 determinada al efecto para el suelo en cuestión, se requería una cuota de riego de 83 mm para llevar a capacidad de campaña la profundidad de suelo considerada: 0,40 m.

Al tratamiento con "cantidad exacta" —ensayo N° 3— se aplicó dicha altura de agua, mientras que al "con exceso" —ensayo N° 2— se agregaron 104 mm, o sea un 25 % más de la cuota calculada.

Los resultados muestran claramente que, en ningún caso, resulta posible humedecer solamente la profundidad propuesta, si se pretende alcanzar los grados de humedad que corresponden a la capacidad de campaña.

Tabla N° II - CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA EN FUNCIÓN DE LA CUOTA DE RIEGO Y POSICIÓN EN EL PERFIL (Riego por Inundación).

E N S A Y O S							
PROFUNDIDAD <i>cm</i>	N° 1		N° 2		N° 3		Humedad Inicial %
	Humedad % 200 mm	%	Humedad % 104 mm	%	Humedad % 83 mm	%	
0 - 5	31,8		27,4		26,2		7,77
5 - 10	26,8		24,9		24,0		9,91
10 - 15	24,0		23,3		22,0		11,07
15 - 20	22,9		22,6		20,1		10,77
20 - 25	21,8		22,1		19,7		8,45
25 - 30	21,7		21,6		19,4		8,46
30 - 35	21,4		21,7		18,6		8,45
35 - 40	21,6		21,4		16,1		8,88
40 - 45	—		19,8		12,6		8,90
45 - 50	—		18,1		9,1		8,90
50 - 65	—		10,7		—		8,45

Al agregar la cuota exacta de reposición el agua avanzó en profundidad por lo menos 10 cm más allá del horizonte considerado, mientras que todos los valores correspondientes a la misma posición de la muestra, fueron inferiores a los del ensayo N° 1.

Con un exceso de agua de un 25 % en el ensayo N° 2, los valores fueron superiores al del caso anterior y la humedad avanzó en profundidad hasta 65 cm; no obstante eso, dicho exceso no fue suficiente para distribuir la cuota de riego (83 mm), dentro de los primeros 0,40 m de suelo.

En los tres casos considerados se repite la gradación decreciente de humedad con la profundidad, ya observada en los ensayos de laboratorio. Asimismo, los valores correspondientes a idéntica posición de la muestra observan un orden decreciente a medida que disminuye la cantidad de agua aplicada.

En cuanto a los ensayos de riego por surco, se detallan a continuación los valores promedio de muestras tomadas en tres posiciones diferentes de la sección humedecida, y que corresponden a distancias crecientes con respecto al eje del surco (fig. N° 2).

Tabla N° III - CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE RIEGO Y POSICIÓN EN EL PERFIL (Riego en surcos).

POSICIÓN DE LA MUESTRA	DURACION DEL RIEGO		
	2 bs.	4 bs.	6 bs.
	Humedad %	Humedad %	Humedad %
1	24,6	25,4	25,8
2	20,6	21,2	22,4
3	19,3	20,5	21,2

Es decir que se cumple exactamente lo observado en las columnas de suelo y en los ensayos de campo ya considerados, o sea: que la cantidad de agua retenida en el suelo depende la posición de la muestra en el perfil y de la cantidad de agua aplicada.

En cuanto a la influencia del grado de humedad inicial en la distribución con posterioridad al riego, se detallan a continuación los resultados correspondientes a dos ensayos de campo en parcelas sometidas a diferentes regímenes de riego (Tabla N° IV).

Tabla N° IV - CAPACIDAD DE RETENCIÓN DEL AGUA EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN EN EL PERFIL Y DE LA HUMEDAD INICIAL

PROFUNDIDAD cm	ENSAYOS NUMEROS			
	1		2	
	antes %	después %	antes	después
0 - 20	7,2	23,1	7,5	23,7
20 - 40	10,8	20,8	7,6	21,6
40 - 60	15,3	21,0	13,0	18,5

Ello señala que no obstante que antes del riego la humedad se encuentra en un orden creciente con la profundidad, con posterioridad al mismo la distribución del agua en el suelo sigue un orden

inverso al anterior, en concordancia con lo observado en los ensayos de campo y laboratorio ya mencionados.

Discusión

De las experiencias realizadas surgen las siguientes respuestas a las preguntas planteadas en la introducción de este trabajo, limitadas por ahora al tipo de suelo estudiado.

1º - *La capacidad de campo varía dentro de un horizonte homogéneo con pequeñas diferencias de profundidad.* En efecto, del examen del ensayo de campo N° 1, Tabla N° II, puede apreciarse claramente que dentro de los 40 cm del horizonte homogéneo considerado, se obtuvieron para la capacidad de campo valores que oscilaron entre 31,8 % y 21,4 % para diferentes puntos del mismo. Análogas consideraciones merecen los resultados obtenidos en los ensayos Nros. 2 y 3, aunque los valores absolutos difieran por acción, como se verá luego, de las menores cantidades de agua aportadas.

Considerando que los primeros 10 cm están sujetos, en condiciones naturales, a rápida variación de humedad por efectos de la evaporación directa y de la transpiración de las malezas, el *valor práctico* de la capacidad de campo, está determinado por el promedio de los porcentajes de humedad como límite inferior. Sin embargo, no debe perderse de vista las probables consecuencias de *orden fisiológico*, en cuanto a concentración y actividad radical se refieren, que puede tener el hecho demostrado de las variaciones importantes de humedad dentro de un mismo horizonte textualmente homogéneo.

En cuanto a los ensayos de laboratorio, Tabla N° II, confirman todos ellos la heterogénea distribución del valor capacidad de campo en relación a la posición de la muestra, aunque el orden creciente o decreciente a partir de la superficie, difiera según se trate de aplicaciones de agua insuficientes (Ensayos Nros. 1, 2 y 3), o suficientes (Ensayo N° 4) para drenar por el fondo de los tubos utilizados.

2º - *Con las cuotas de riego calculadas según el "método de la reposición" no se alcanza la capacidad de campo en toda la profundidad deseada.* Esto surge evidentemente del ensayo de campo N° 3, Tabla N° II, donde se aplicó exactamente la cantidad de agua calculada de acuerdo a la fórmula (I) para llegar a reproducir el valor de capacidad de campo, determinado en el ensayo N° 1. Para el tipo de suelo ensayado la diferencia entre la capacidad de campo y la humedad obtenida con el método de reposición ascendió a 3,42 %, considerando todo el horizonte de 0 a 40 cm.; y algo menor, 2,92 %, tomando en cuenta únicamente de 10 a 40 cm (ver Tabla N° V).

Esto significa que en la práctica del riego por reposición no se logra constituir en el suelo la máxima reserva posible de agua y que

Tabla N° V - DIFERENCIAS ENTRE CAPACIDAD DE CAMPO Y HUMEDADES REALES OBTENIDAS CON EL MÉTODO DE LA REPOSICIÓN

Capa de suelo cm	Capacidad de campo prom.	Humedades obtenidas Método reposición	Humedades obtenidas Método reposición + 25 %	
	(1)	(2)	(3)	
0-40	22,00 %	20,76 %	23,12 %	
10-40	22,23 %	19,31 %	22,11 %	
	Diferencia entre (1) - (2)		Diferencia entre (1) - (3)	
Capa de suelo cm	Valor absoluto	Valor sobre agua disponible (útil)	Valor absoluto	Valor sobre agua disponible (útil)
0-40	3,24 %	27,00 %	0,88 %	7,34 %
10-40	2,92 %	28,5 %	0,13 %	1,18 %

la diferencia en menos, con respecto al nivel posible de ser alcanzado, es de importancia cuando se la relaciona con el total de agua útil (diferencia entre la capacidad de campo y el porcentaje de marchitamiento). Es así como en el suelo ensayado, cuyo porcentaje de marchitamiento calculado es del 12 %, con el método de reposición se almacena sólo el 73 % del agua útil posible (ver Tabla N° V).

De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos por reposición se observa otro hecho interesante: a pesar de que el agua agregada lo fue para mojar exactamente los primeros 40 cm hasta capacidad de campo, el humedecimiento superó esa profundidad y no se distinguió una línea neta de separación entre la parte mojada y la seca, tal como habría de esperarse de acuerdo a VEIHMEYER. Por consiguiente, se comete un error al calcular la profundidad del suelo mojado despejando "P" en la fórmula (I), ya que aún en el método por reposición exacta existe un inevitable sobrepasamiento de la zona que se intenta mojar. Esta circunstancia puede ser importante en las consideraciones relativas al movimiento de sales después del riego en suelos salinos.

La distribución uniformemente decreciente con la profundidad, que se obtiene con el método por reposición exacta, tiene como consecuencia que el agua deba ser absorbida por las raíces a tensiones iniciales diferentes; éste puede ser uno de los factores que limitan la actividad y el desarrollo radical en profundidad.

3° - Es evidente de que la cantidad de agua retenida por el suelo es, basta cierto umbral mínimo, función de la cuota de riego aplicada. (Ver Tablas N° II y III). Este umbral mínimo, por encima

del cual se alcanza un valor prácticamente constante, al que podemos denominar con propiedad "capacidad de campo"; varía posiblemente con el tipo de suelo. En nuestro caso coincide aproximadamente con la cuota de reposición aumentada en un 25 %, Tabla N° II, Ensayo 2°; este exceso fue suficiente para almacenar el 92,66 % del agua disponible máxima, calculando los primeros 40 cm, o el 98,82 % tomando en consideración sólo la capa 10 - 40 cm (ver Tabla N° V).

4° - Todos los aspectos anteriormente señalados son dignos de ser tomados en especial consideración en las siguientes circunstancias:

a) En zonas de riego donde los turnos son muy espaciados y, por lo tanto, debe tenderse en cada riego a constituir la máxima reserva de agua útil posible;

b) En las experiencias de riego donde se pueden cometer errores apreciables si se presupone, sin verificarlo, que con la cuota de reposición exacta se vuelve a alcanzar la capacidad de campo en la profundidad calculada.

Conclusiones

De los ensayos efectuados y de la discusión de los resultados obtenidos, pueden extraerse las siguientes conclusiones, aplicables al tipo de suelo estudiado:

1° - Se confirman los antecedentes de la literatura pertinente, relacionados con la necesidad de determinar la capacidad de campo por medio de un considerable exceso de agua.

2° - Se establece que los valores de capacidad de campo determinados para una capa texturalmente homogénea y limitada dentro de un perfil permeable, varían con la posición de la muestra, en sentido vertical, y en forma decreciente con la profundidad. La diferencia más notable se establece en los primeros 10 cm donde la capacidad de campo es marcadamente mayor.

3° - La zona humedecida por el riego supera en todos los casos la capa cuya reposición de humedad ha sido calculada. Es decir, que el avance del frente húmedo puede producirse a velocidades significativas a tensiones de humedad superiores a las correspondientes a la capacidad de campo.

4° - Con la cuota de riego calculada con el método de la reposición exacta (agregado del agua correspondiente a la diferencia entre la capacidad de campo y la humedad inicial) no se consigue reproducir los valores de capacidad de campo y, además, se hace más notable la decreciente distribución de humedad en profundidad.

5° - Para obtener la reproducción aproximada de los valores de capacidad de campo, la cuota de riego calculada por el método de la reposición exacta debe ser afectada por un coeficiente a establecer

en cada caso y que para el suelo franco-limoso de Chacras de Coria, en las condiciones ensayadas, es igual a 1,25.

6° - Las conclusiones anteriores deben ser tenidas en especial consideración para mejorar la técnica del riego o para evitar errores experimentales en los siguientes casos:

- a) En zonas de riego con turnos muy espaciados, donde es imperativo constituir la máxima reserva posible de agua útil.
- b) En las experiencias de riego donde se pretende, en cada riego, reproducir los valores de humedad correspondientes a la capacidad de campo.
- c) En la interpretación de posibles reacciones fisiológicas del sistema radical de las plantas frente a las variaciones de la energía libre del agua en el suelo, vinculadas con la posición en el perfil.

RESUMEN

En experiencias de campo y de laboratorio se estudia, en suelos francos y franco-limosos de Chacras de Coria, la distribución de humedad en el perfil después del riego, en función de la cuota de agua aplicada.

Se demuestra que cuando se riega con un volumen de agua calculada de acuerdo al método de la reposición exacta, no se alcanza el valor de la capacidad de campo en toda la profundidad que se desea mojar. Para lograr ese máximo almacenamiento de agua deseable debe aplicarse un exceso, que en el caso ensayado ascendió al 25 % de la cuota calculada.

Se señala la inexistencia de una zona neta de separación entre capa humedecida y capa seca y se deduce la posibilidad del avance del frente húmedo a tensiones superiores a la capacidad de campo.

Se discute la importancia de las conclusiones obtenidas con relación a: 1°) técnica de riego en zonas de turnos espaciados; 2°) apreciación de los ensayos de riego cuando estos presuponen la obtención de valores de humedad de capacidad de campo, después de cada aplicación de agua.

Se indica la desigual distribución del agua en profundidad, aún en capas texturalmente homogéneas, y la posibilidad de influencia de las diferentes energías libres del agua en el suelo sobre la actividad del sistema radical.

ZUSAMMENFASSUNG

*Einfluss der Bewässerungsquote auf die Wasseraufspeicherungs-
kapazität des Bodens*

In Feld- und Laborversuchen wird in lehmigen und lehmigsch-

luffigen Böden von Chacras de Coria die Feuchtigkeitsverteilung im Profil nach der Bewässerung, in Funktion der angewandten Wasserquote untersucht.

Es wird bewiesen, dass wenn man mit einem nach der Methode der "exakten Ergänzung" ausgerechneten Wasservolumen bewässert, den Wert der erwünschte maximale Wasseraufspeicherung zu erlangen, muss ein Übermass angewandt werden, der in Versuchsfall 25 % der errechneten Quote betrug.

Es wird auf das Nichtbestehen einer deutlichen Trennungszone zwischen der befeuchteten und trockenen Schicht hingewiesen, und die Möglichkeit des Fortschreitens der feuchten Front bei höheren Bodenwasserspannungen als die der Feldkapazität, abgeleitet.

Besprochen wird die Wichtigkeit der erhaltenen Schlüsse in Bezug auf: 1) Die Bewässerungstechnik in Zonen langer Zeitperioden zwischen zwei Bewässerungen und wo einen maximale Wasseraufspeicherung im Boden vorteilhaft ist; 2) in der Abschätzung der Bewässerungsversuche, wenn diese das Erhalten von Feuchtigkeitswerten der Feldkapazität nach jeder Bewässerung voraussetzen.

Es wird auf die ungleiche Tiefenverteilung des Wassers auch in Schichten homogener textur und auf die Möglichkeit des Einflusses der verschiedenen freien Wasserenergien im Boden auf die Aktivität des Wurzelsystems, hingewiesen.

LITERATURA CITADA

- (1) SCHOFIELD, R. K. and PENMAN, H. L., 1949. *Tre concept of Soil Moisture Deficit*. Proc. 2nd. Int. Conf. Soil Mech., Rotterdam.
- (2) PEARL, R. T. (edit.), 1954. *The Calculation of the Irrigation Need*. Min. Agr. Fis. Tech. Bull. N° 4, London.
- (3) TSCHAPEK, M. W., 1959. *El Agua en el Suelo*. Colección Cient. INTA, Buenos Aires.
- (4) RICHARDS, L. A. and W ADLEIGH, C. H., 1952. *Soil Water and Plant Growth. In Soil Physical Condition and Plant Growth*. Chap. 2, 73-271 pp., Acad. Press Ind., New York.
- (5) VEIHMEYER, Franc J., 1956. *La Humedad del Suelo y su Aprovechamiento por las Plantas*. Dpto. Conservación Recursos Agric., Min. Agr., Sgo. Chile.
- (6) VEIHMEYER, F. J. and HENDRICKSON, A. H., 1950. *Soil Moisture in Relation to Plant Growth*. Ann. Rev. Plant Physiol. 1, 285-304.
- (7) BLACK, C. A., 1957. *Soil Plant Relationships*. John Wiley & Sons, New York.
- (8) VEIHMEYER, F. J., 1927. *Some Factors Affecting the Irrigation Requirements of Deciduous Orchards*. Hilgardia 2: 125-291, Berkeley, Calif.
- (9) COLMAN, E. A., 1944. 1944. *The dependence of field capacity upon the depth of wetting of field soils*. Soil Sci. 58, 43-50.
- (10) CRASSI, Carlos J., 1960. *Relación entre la carga de agua y el avance del frente húmedo en el surco*. Experimenta, 19 de junio de 1960.