

ALGUNAS RELACIONES ENTRE VELOCIDAD DE CRECIMIENTO Y EVAPOTRANSPIRACION ¹

POR CARLOS J. GRASSI ² Y DARÍO L. E. MIHAJLOVICH ³

ABSTRACT

The experiments analyzed in this report, were conducted in a gypseous clay soil at the "Instituto de Suelos y Riego" Experimental Farm, Guaymallen, Mendoza, Argentine Republic.

A wheat crop was sowed about the middle of november; and the experiment followed until the beginning of heading stage. Every 7 days, plants were dugged up, and height of the plants H , depth of root zone D , and dry weight of the plants P_s , were determined.

The crop was periodically irrigated. In accordance with the dates of digging up the plants, actual evapotranspiration was obtained by measuring soil water content, in the soil layer reached by the plant roots.

Relative evapotranspiration E_a/E_p , was studied as a function of different expressions of plant growth: H , D and P_s . From the analysis of that relationships during « the great growth rate period », may be deducted that relative evapotranspiration changes potentially or exponentially with H and with P_s , and linearly with D .

Actual to potential evapotranspiration ratio increases with D , even when soil water potential reaches very low values in the root zone. This is due to the fact of the increasing volume of soil explored by the roots, and the easy availability of water for roots in their downwards growth.

¹ Para la realización de este trabajo, se contó con una subvención de la Comisión Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la República Argentina.

² Ingeniero Agrónomo. Master of Science en Irrigación y Drenaje. Profesor titular de Hidrología Agrícola y Jefe de la Sección Hidrología Agrícola del Instituto de Suelos y Riego de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo.

³ Ingeniero Agrónomo. Investigador del Instituto de Suelos y Riego de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo.

INTRODUCCION

La velocidad de evapotranspiración de un cultivo, varía a lo largo de su ciclo vegetativo. Además de los factores físicos que actúan directamete cambiando el estado del agua, del líquido al de vapor, existe un efecto derivado del comportamiento de la misma planta.

Desde emergencia a floración, la planta aumenta su volumen externo expresado por tallos, ramas y hojas o sea su superficie de evaporación; y correlativamente el tamaño de la raíz, o sea de la capacidad de extracción de agua y de elementos nutritivos del suelo.

El acuerdo existente entre crecimiento y transpiración se desprende de las clásicas experiencias en varios cultivos, publicadas por BRIGGS y SHANTZ en el año 1913; estos trabajos, juntamente con otros que consigna la literatura, son considerados en la discusión de ARKLEY (1963), sobre este tema.

Sin embargo, dado la incidencia simultánea de los factores físicos y fisiológicos, se requiere para estudiar el comportamiento de la planta sobre la evapotranspiración, considerar este proceso en forma relativa: evapotranspiración actual o real sobre evapotranspiración potencial.

La evapotranspiración relativa, a lo largo del ciclo vegetativo, ha sido estudiada por distintos autores: BLANEY y CRIDDLE (1950), JENSEN y HAISE (1963), GRASSI (1964), con relación a las respectivas fórmulas por ellos propuestas; KIJNE (1961) y GRASSI (1964) con relación a la evaporación del tanque standard tipo A; HALKIAS *et al.* (1955), con relación a la diferencia de evaporación de un atmómetro negro y otro blanco; y PRUITT (1960), con relación a la evapotranspiración en lisímetros de una superficie cubierta de vegetación.

Se requiere un mayor detalle de lo que se entiende por tamaños del cultivo, y para ello debe determinarse cuantitativamente la velocidad de crecimiento del mismo y su efecto en la evapotranspiración relativa. Dado que el crecimiento puede expresarse de muy diversas maneras: altura de la planta, profundidad de penetración de la raíz en el suelo, peso de materia seca producida, etc., es necesario un más detallado análisis de la incidencia de estos factores en la evapotranspiración relativa. Ello es lo que se intenta en este trabajo, con relación a una especie anual que aumenta significativamente de tamaño en un lapso reducido: el trigo.

MATERIAL Y METODO

Los ensayos respectivos se realizaron en la finca General San Martín, de la Facultad de Ciencias Agrarias, ubicada en El Sauce, departamento Guaymallén, Mendoza.

El período abarcado por las experiencias —verano— no corresponde a la variedad de trigo de invierno utilizada. Su elección obedeció a que, en realidad, no interesaba la producción final del cultivo en sus mejores condiciones ecológicas, sino analizar la variación de la evapotranspiración relativa, durante el llamado “gran período de crecimiento”, en una especie anual fácil de manipular.

Se dispuso para la experiencia de una parcela de 2×4 m, nivelada “a cero”, y delimitada por “bordos” para regar con alta eficiencia de distribución de agua. Se sembró trigo a mediados de noviembre, manteniendo el suelo en condiciones de humedad, para asegurar la máxima población del cultivo.

Una vez emergidas las plantas y cuando éstas tenían unos 10 cm de altura, el 1-XII-64, se comenzaron las determinaciones con intervalos semanales, extrayéndose plantas para medir su tamaño y muestras de suelo para controlar su contenido hídrico.

Las plantas se obtuvieron desenterrando un pan de tierra con un número suficiente de ellas, para lograr promedios aceptables. A fin de separar las plantas, se empleó en cada oportunidad un canasto de malla metálica, construido especialmente, con abertura longitudinal para colocar el pan de tierra. Luego el conjunto, o sea el pan de tierra ajustado por la malla, se sumergía en agua, produciendo por sucesivos movimientos ascendentes y descendentes un oleaje capaz de extraer el material térreo de las raíces.

Mediante el procedimiento expuesto se pudo obtener plantas, manteniendo el sistema radical aproximadamente en sus condiciones originales y efectuar en cada una de ellas medidas de la profundidad de las raíces y de la parte aérea; además, en base al peso del manojito de plantas, se determinó el peso medio de cada planta expresado en materia seca.

Realizada la última determinación del ciclo de observaciones, se abrió una calicata en la parcela, siguiendo con sumo cuidado, y en toda su profundidad, el sistema radical del cultivo, a fin de estimar la distribución de las raíces por capa de suelo.

Correlativamente con las muestras de plantas, se extrajo de la capa de suelo abarcada por la zona de máxima exploración radical, medida en la forma expuesta y empleando un barrenito de tubo, cuatro muestras de suelo (determinaciones) distribuidas en la superficie de la parcela. Luego, en base al contenido hídrico promedio y del peso aparente del suelo, se calculó la lámina de agua evapotranspirada en cada intervalo.

Dado el valor variable de la "capacidad de campo", en función de la lámina de agua aplicada, según lo han comprobado NIJENSOHN *et al.* (1962), se determinó el contenido de agua en el suelo, 2 días después de cada riego.

La experiencia se prolongó desde el 1-XII-64 al 15-II-65, o sea un total de 76 días, durante los cuales se efectuaron 12 determinaciones de tamaño de plantas y los respectivos controles de contenido hídrico edáfico. Las observaciones comenzaron cuando las plantitas tenían unos 10 cm de altura y abarcaron el lapso denominado "gran período de crecimiento", que se extiende desde poco después de la emergencia hasta espigazón plena y comienzo de la madurez.

El período de espigazón comenzó a registrarse con la observación del día 2-II-65, se generalizó entre esta determinación y la del 9-II-65, por lo que consideró a esta última como espigazón plena.

Durante la experiencia se aplicaron 7 riegos, con intervalos variables entre 7 y 14 días, a fin de mantener la humedad edáfica dentro del rango de "humedad disponible" para la planta.

El suelo de la parcela puede definirse texturalmente como arcillo-yesoso, con una capa integrada por concreciones de yeso que comienza entre 40 y 45 cm de profundidad. La "capacidad de campo" de este suelo, promedio de 0 a 40 cm, es de $W_c = 32\%$ (0,6 bares de succión matriz); y el "punto de marchitamiento permanente" (15 bares de succión matriz), $W_m = 18,0\%$.

Para caracterizar en cada muestra, variable con la profundidad radical, el estado energético del agua en el suelo, fue necesario efectuar una interpolación en la curva de capacidad hídrica (contenido hídrico en función de la succión matriz). Dado que se requería una curva para cada profundidad de muestreo, se utilizaron los datos disponibles en el Instituto de Suelos y Riego, correspondientes a este suelo, desde 0.1 a 15 bares de succión matriz y desde 10 a 40 cm de profundidad.

Durante los ensayos se compilaron, asimismo, los datos pluviométricos y las observaciones meteorológicas de temperatura media diaria y máxima media diaria registrados en la misma propiedad; y los datos de nubosidad media diaria, registrados en el Observatorio Meteorológico de la ciudad de Mendoza.

RESULTADOS

Dado que los datos de velocidad de evapotranspiración (L/T), deben ser calculados para un determinado intervalo, se requiere también, a los fines del estudio de las relaciones propuestas, la semisuma del tamaño de la planta (altura de la parte aérea o profundidad de la raíz), correspondiente a dos determinaciones sucesivas. En tal caso los datos de tiempo acumulado se refieren al día medio de cada intervalo.

CUADRO 1

Intervalo N°	Tiempo acumulado	Tamaño de la planta			Evapotranspiración		
		Altura H (cm)	Prof. raíz D (cm)	Mat. seca PS (gr)	Real, Ea	Potencial	Ea/Ep
1	5	13,0	9,8	0,209	2,06	5,92	0,348
2	12	16,3	11,3	0,300	—	—	—
3	18	18,5	13,7	9,427	2,61	5,52	0,473
4	25	23,0	16,4	0,697	2,95	5,42	0,545
5	32	27,8	18,9	1,111	3,64	5,88	0,620
6	38	29,1	20,1	1,210	—	—	—
7	46	35,2	33,3	1,165	3,46	5,37	0,645
8	52	44,5	27,0	1,740	5,34	6,51	0,820
9	60	64,1	31,1	1,950	5,46	5,80	0,942
10	67	77,7	33,6	2,385	4,80	5,98	0,803
11	75	76,5	36,8	3,010	5,84	5,74	1,017

En el cuadro 1 se incluye para cada período y respectivo tiempo acumulado en días, t ; los datos de altura en cm de la planta, H ; profundidad de penetración en cm de la zona de máxima exploración radical, D ; el peso, en g, de la planta en materia seca, Ps ; la velocidad de evapotranspiración real en mm/día, Ea ; la velocidad de evapotranspiración potencial en mm/día, Ep , y la evapotranspiración relativa para cada intervalo, Ea/Ep .

La Ea se calculó en base a la ecuación:

$$Ea = \frac{(\Delta W \cdot \rho_a \cdot D \cdot 10) + P}{100 \cdot t_i}$$

Donde:

ΔW es la diferencia del contenido hídrico del suelo en base a peso seco, entre tiempo t_2 y t_1

ρ_a es el peso aparente del suelo: $1,3 \text{ g} \cdot \text{g}^{-3}$

D es la profundidad media de las raíces, en cm, entre tiempo t_2 y t_1

P es la precipitación en mm del intervalo

t_i es la duración en días del intervalo entre t_2 y t_1 .

La Ep ha sido calculada con la fórmula de GRASSI y CHRISTIANSEN, según GRASSI (1964), que se basa en la radiación solar al tope de la atmósfera, la nubosidad, la temperatura media y la diferencia de temperatura máxima menos media.

Se detalla a continuación, separadamente, el resultado de las distintas relaciones consideradas en la experiencia.

1. Variación del tamaño de la planta en función del tiempo

La figura 1 incluye las curvas de $H = f(t)$ y de $D = f(t)$ obtenidas con los datos del "gran período de crecimiento" y espi-

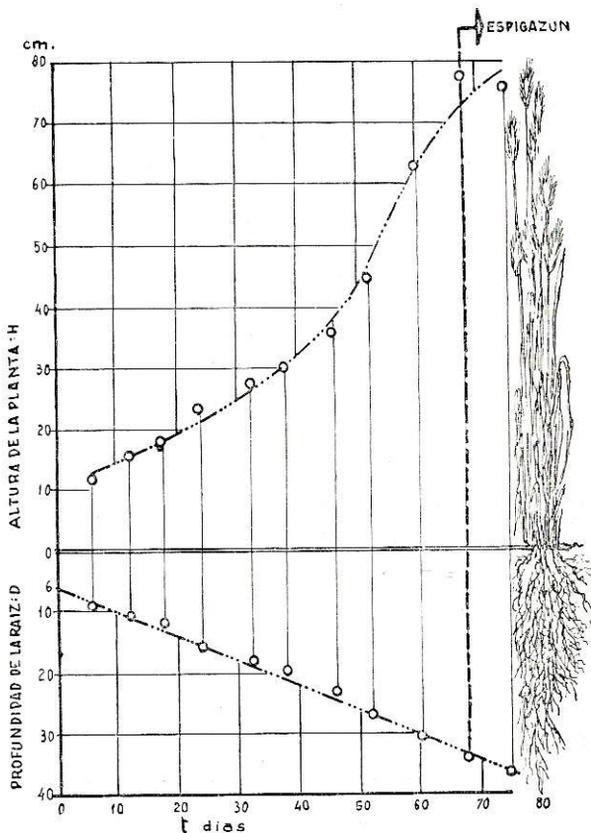


Figura 1

gazón. La fotografía (fig. 2) corresponde a muestras de plantas de extracciones alternadas. De la misma se desprende que $H = f(t)$ sigue la curva sigmoide típica del crecimiento, caracterizada por una etapa inicial de baja velocidad de crecimiento, una intermedia de elevada velocidad y otra final de reducida velocidad de crecimiento. La curva de $D = f(t)$, en cambio, es una recta y la disposición de los puntos muestra una alta correlación lineal ($r = 0,995$), que responde a la ecuación:

$$y = b_0 + b_1x \quad (2)$$

Obtenidos los valores de b_0 y de b_1 , la anterior ecuación para $D = f(t)$, resulta:

$$D = 6,55 + 0,3961 t \quad (2')$$



Figura 2

Del estudio de la relación de $D = f(H)$ en cambio, resulta una curva que responde a la ecuación:

$$y = a \cdot x^m \quad (3)$$

Calculados por el procedimiento estadístico de los "mínimos cuadrados", los valores numéricos de a y de m , la ecuación resulta:

$$D = 0,529 \cdot H^{1,371} \quad (3')$$

La (3') señala el acuerdo existente entre el crecimiento de la parte aérea y la parte subterránea de la planta: al crecer D se incrementa H potencialmente (fig. 3).

La dH/dt a distintos valores del tiempo acumulado t , representa la variación de la velocidad de crecimiento, V_c , de la parte

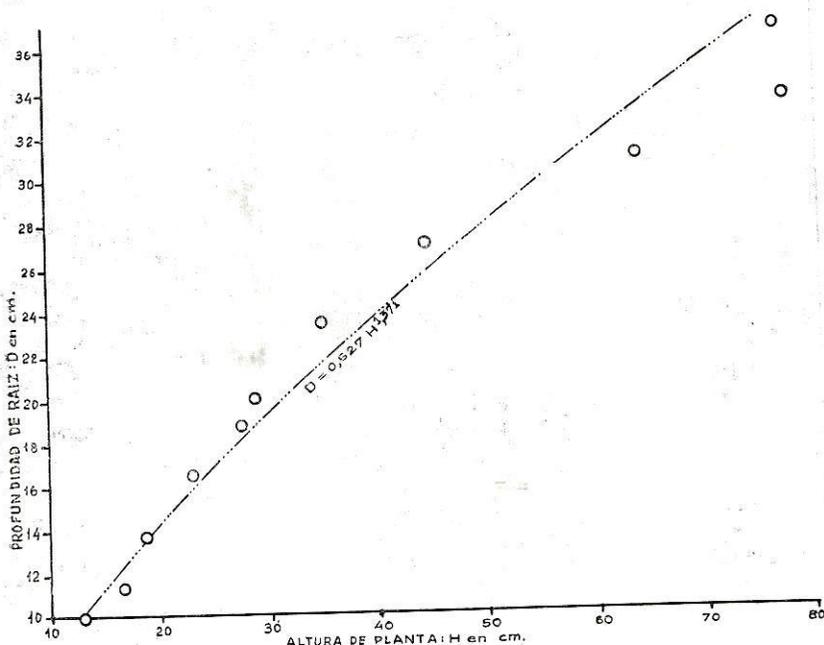


Figura 3

aérea de la planta en función de t (fig. 4). La curva de la velocidad de crecimiento en función del tiempo responde a la forma típica: comienza con valores reducidos, llega gradualmente a un máximo y luego disminuye en forma gradual.

En la figura 5 se ha representado, con relación al peso por planta expresado en materia seca, la variación de $P_s = f(t)$. La curva señala un mayor incremento en peso de P_s/dt al final del "gran período de crecimiento" y comienzo de la espigazón.

2. Evapotranspiración en función de crecimiento

El acuerdo existente entre evapotranspiración y crecimiento se analiza a través de varias relaciones que tienen en cuenta la eva-

potranspiración actual acumulada Ea_t a tiempo t , y la evapotranspiración relativa Ea/Ep , en función de diferentes expresiones del crecimiento: altura de las plantas, H ; profundidad de penetración de la raíz, D , y peso de la planta en materia seca, Ps .

$$a) \quad \frac{Ea}{Ep} = f(Ps)$$

La figura 6 muestra que Ea/Ep crece potencial o exponencialmente con Ps .

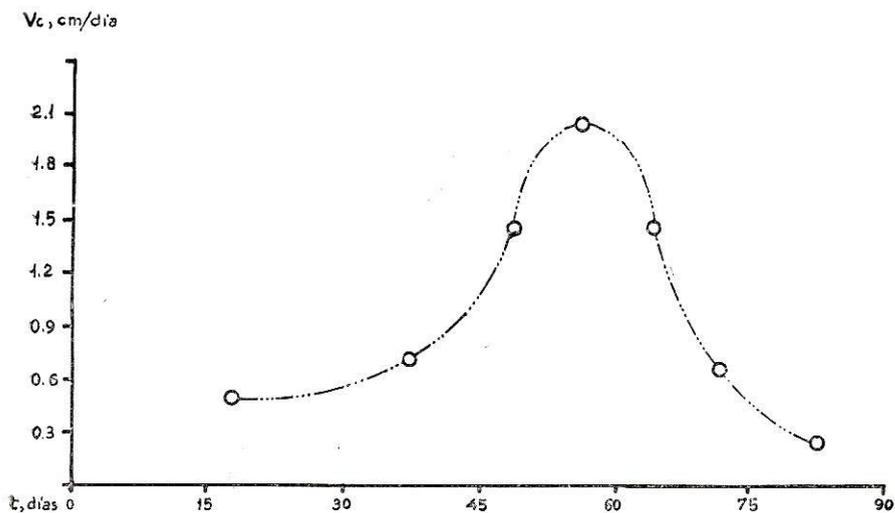


Figura 4

La pendiente es elevada al principio del ciclo y disminuye en correspondencia con el período de espigazón.

$$b) \quad \frac{Ea}{Ep} = f(D)$$

La figura 7 muestra elevada correlación lineal, $r = 0,965$, y la ecuación:

$$Ea = Ep (0,159 + 0,0227 D) \quad (4)$$

Lo que señala que para determinadas exigencias evapotranspiratorias, Ep , aumenta proporcionalmente Ea , a medida que crece la profundidad de exploración radical D .

$$c) \quad \frac{Ea}{Ep} = f(Vc)$$

La curva (fig. 8) señala un aumento de E_a/E_p con V_c , hasta un máximo que se alcanza a los 56 días de la fecha de comienzo de las observaciones (71 días de la fecha de siembra); a partir de la cual, continúa creciendo más rápidamente la evapotranspiración relativa, aun cuando disminuye V_c .

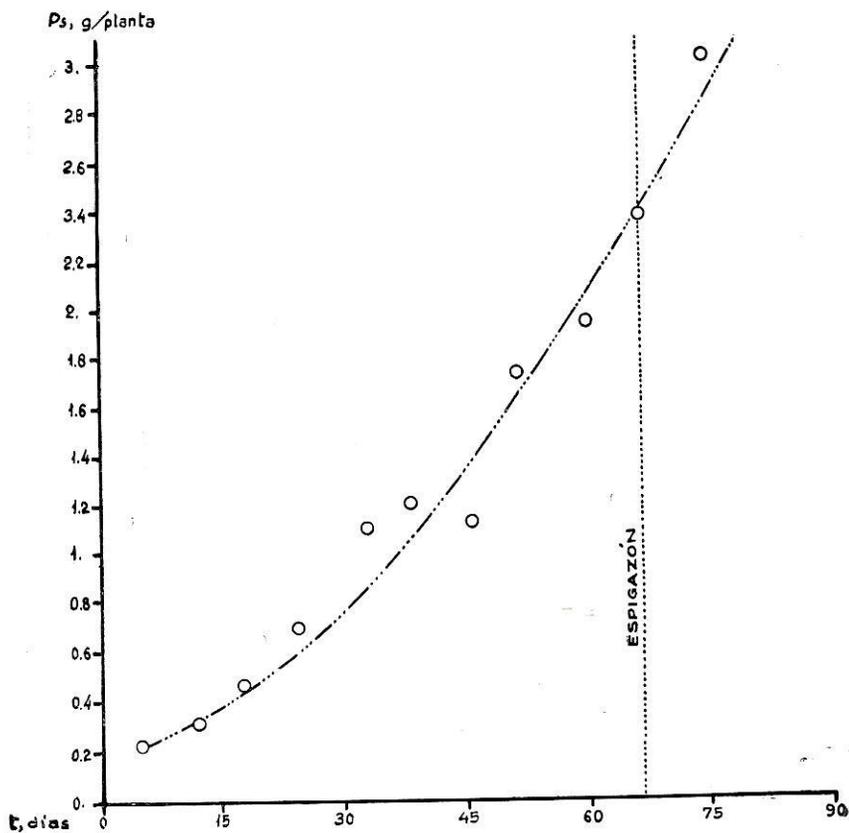


Figura 5

A fin de comprobar con los datos de la experiencia una ecuación desarrollada por GRASSI-CHRISTIANSEN para cultivos anuales, GRASSI (1964) se representa en la figura 9: $E_a/E_p = f(H)$, pero considerando a H en porcentaje de la altura máxima alcanzada por las plantas; y se reproduce la curva de la ecuación en función del porcentaje de cubrimiento de terreno por el cultivo, Crc :

$$\frac{E_a}{E_p} = 0,1127 + 0,01394 Crc - 0,00005081 Crc^2$$

La representación respectiva señala, en general, un aceptable acuerdo entre E_a/E_p en función de las medidas de H y la calculadas con dicha fórmula en base a *Crc.*

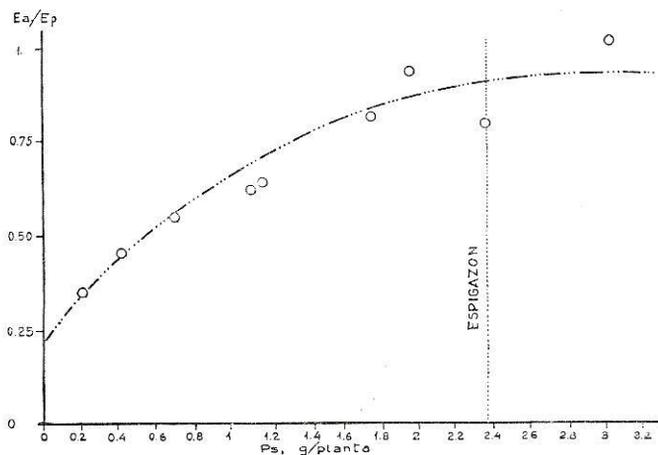


Figura 6

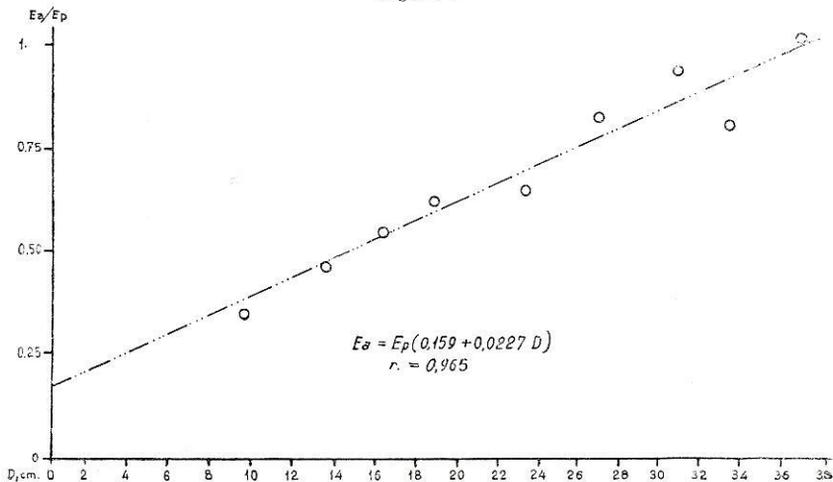


Figura 7

La extensión del sistema radical, determinada una vez concluida la experiencia, señaló la existencia de raíces hasta una profundidad de 80 cm, con la siguiente distribución porcentual estimada: capa de 0 a 20 cm, 60 %; capa de 20 a 40 cm, 30%; capa de 40 a 80 cm, 10 %. Dado que en los muestreos de suelo no se alcanzó la total profundidad de las raíces, puede aceptarse que la distancia de penetración de la zona de máxima exploración ra-

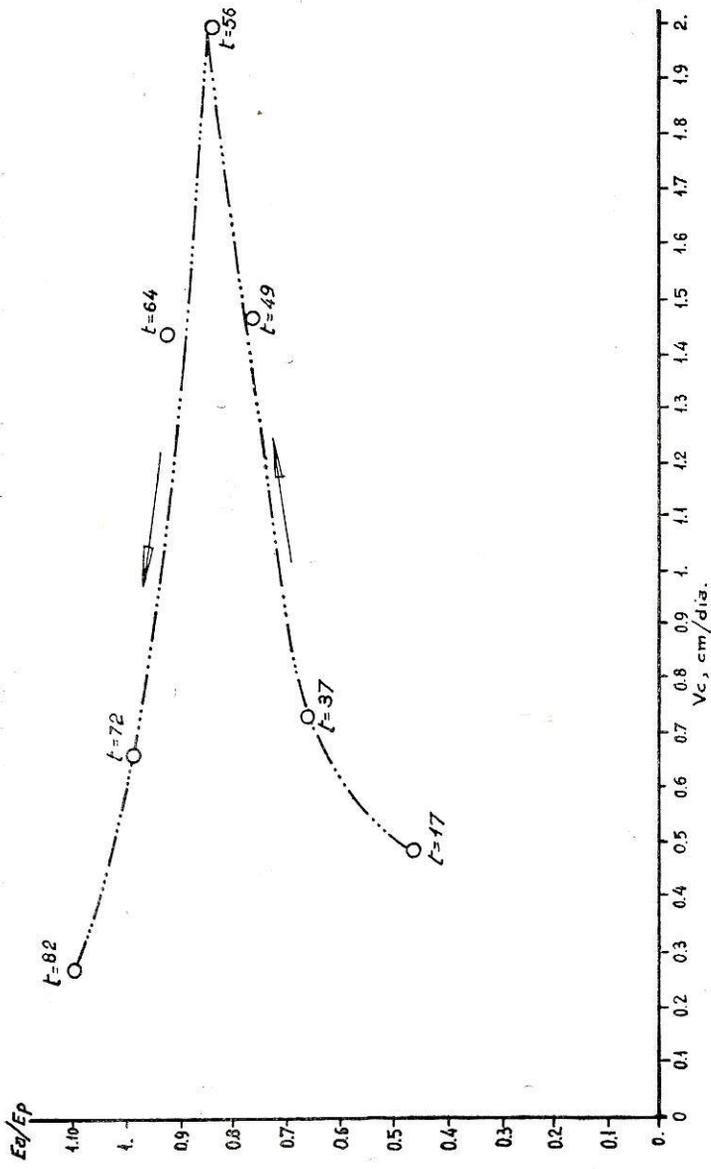


FIGURA 8

dical, en base a la cual se interpreta este trabajo, comprende aproximadamente el 90 % del sistema radical del trigo.

3. Capacidad de extracción de agua por el cultivo

La capacidad de extracción de agua del suelo por el cultivo depende de la creciente profundidad de su sistema radical, tal como lo expresa la ecuación (4).

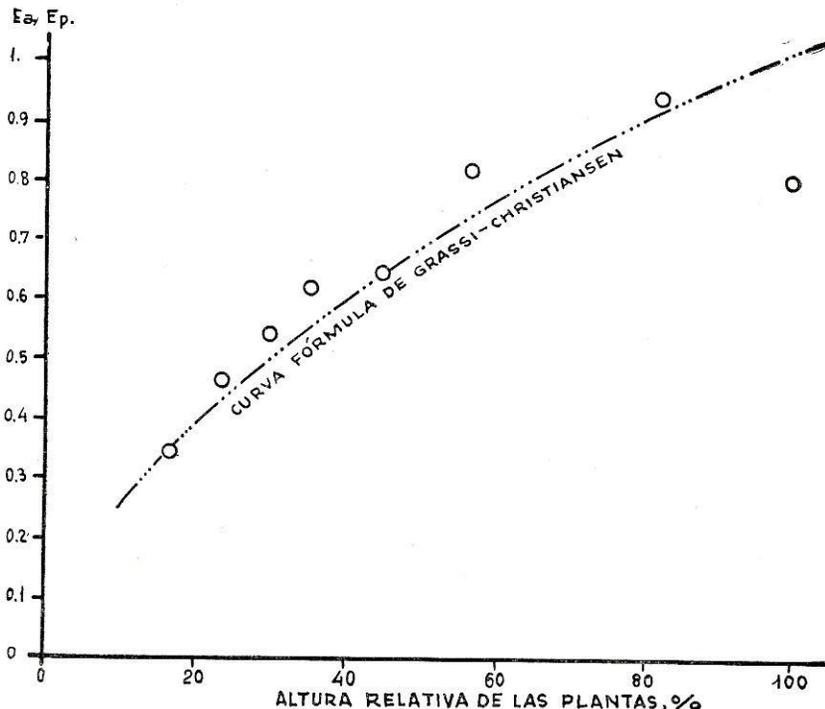


Figura 9

Reemplazando en la (4) el valor de D de la (2'), se obtiene $E_a, E_p = f(t)$:

$$E_a = (0,308 + 0,00899 t) \quad (5)$$

En la (5), cuando $t = 0$, o sea en la oportunidad de la siembra, $E_a = E_p \cdot 0,308$, representa sólo la pérdida por evaporación directa del terreno desnudo, ya que el sistema radical no tiene capacidad de extracción de agua ($P = 0$) y no existe superficie foliar capaz de transpirar ($H = 0$). A medida que crece t , aumenta de valor el segundo término de la (5), $E_p \cdot 0,00899 t$, donde la constante ($b_1 = 0,00899$) tiene en cuenta el aumento de E_a con t , por lo tanto con la profundidad de exploración radical, D .

Estableciendo una ecuación diferencial de la (5) con respecto a t :

$$Ea dt = Ep (0,308 + 0,00899 t) dt$$

E integrando entre los límites t_1 y t_2 , se obtiene la altura de agua evapotranspirada d , en el período correspondiente.

$$d = \int_{t_1}^{t_2} Ea dt = Ep \cdot 0,308 \int_{t_1}^{t_2} dt + Ep \cdot 0,00899 \int_{t_1}^{t_2} t dt \quad (6)$$

Dado que el primer término integral de la (6) crece proporcionalmente en función de t y el segundo potencialmente, a medida que transcurre t será en proporción mayor el segundo término, como consecuencia de una mayor extensión del sistema radical. Por ejemplo, para la evapotranspiración potencial media del cielo, $Ep = 5,7$ mm/día, la lámina d será:

Entre $t = 0$ y $t = 1$:

$$d = 5,7 \cdot 0,308 \cdot 1 + 5,7 \cdot 0,00899 t \frac{1}{2} = 1,75 + 0,026 = 1,776$$

Entre $t = 74$ y $t = 75$:

$$d = 5,7 \cdot 0,308 \cdot 1 + 5,7 \cdot 0,00899 \cdot \frac{75^2 - 74^2}{2} = 1,75 + 3,82 = 5,57$$

En el primer caso la transpiración es prácticamente nula, mientras que en el segundo representa el 68,6 % del total evapotranspirado.

La (5) permite determinar la disminución del contenido hídrico del suelo, por cada incremento de profundidad, bajo determinadas exigencias físicas de la atmósfera, Ep . Considerando el primer término de la (5) igual a cero, pues lo que interesa en este caso es el segundo, se puede escribir:

$$\frac{Ea}{Ep} = 0,00899$$

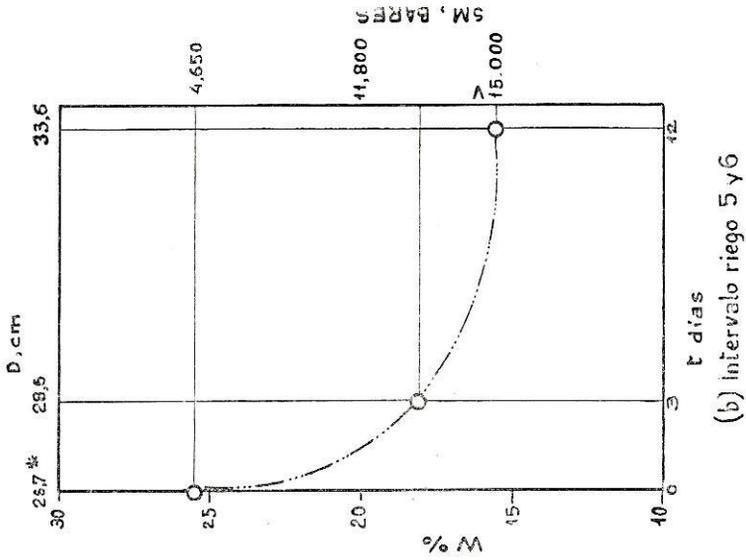
Al reemplazar en la anterior, Ea de la (1) y considerando la precipitación $P = 0$, se tiene:

$$\frac{\Delta W \cdot \rho \cdot D \cdot 10}{100 \cdot Ep \cdot t_1} = 0,00899$$

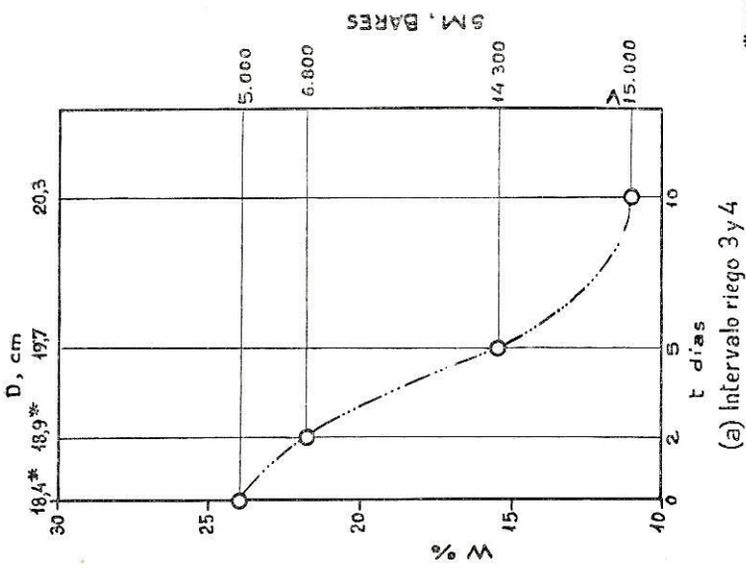
Donde para $\rho = 1,3$, y $D/t_1 = 0,392$ cm/día, resulta:

$$\Delta W = 1.763 Ep \quad (8)$$

Lo que significa que para la evapotranspiración media del período, $Ep = 5,7$ mm/día, de cada incremento de profundidad de la raíz, la planta extrae $W = 10$ % de agua en base a peso seco del suelo.



(b) Intervalo riego 5 y 6



(a) Intervalo riego 3 y 4

* VALORES CALCULADOS

Figura 10

4. *Evapotranspiración relativa y la relación suelo-agua*

El contenido hídrico del suelo, 48 h después de un riego, fue distinto en cada una de las aplicaciones, con un promedio general de $W_d = 25,9 \%$; el contenido hídrico umbral medio de riego resultó en cambio $W_u = 13,7 \%$. O sea que entre riego y riego la humedad edáfica bajó en media $12,2 \%$. A dichos porcentajes corresponden en la curva de capacidad hídrica para 20 cm de profundidad, valores de succión matriz entre 3,8 bares y más de 15 bares respectivamente; lo que demuestra que, en términos generales, el cultivo ha estado sometido a condiciones de muy bajo potencial hídrico.

En la figura 10 se incluye para dos de los intervalos entre riego y riego la variación de W en función de t . En dos ejes auxiliares se agrega además la profundidad radical D a tiempo t y la succión matriz correspondiente al contenido hídrico y profundidad respectiva. Dicha figura permite suponer que el crecimiento del sistema radical continúa, aun con elevados valores de succión matriz (bajo potencial hídrico). Ello se evidencia también en el creciente valor de E_a/E_p en función de D , aún en los varios intervalos registrados, con muy altos valores de succión matriz: prácticamente en los límites del Punto de Marchitamiento Permanente.

DISCUSION

Los resultados de la experiencia muestran una diferente velocidad de crecimiento de la parte aérea, comparativamente con la subterránea. Si bien en ningún período se estaciona el crecimiento, dH/dt es variable en función del tiempo t , mientras que dD/dt se ha mantenido constante en los límites de la experiencia (figs. 1 y 2). El más elevado valor de dPs/dt en función de t , en tramo final de la curva (fig. 5), al que corresponde el mínimo incremento de altura de la planta (fig. 1), se explica por la elevada acumulación de materia orgánica durante el proceso de espigazón.

El incremento en la evapotranspiración relativa depende del crecimiento del cultivo hasta el período de espigazón, durante el cual disminuye dH/dt , coincidentemente con el máximo valor de E_a/E_p ; o sea que en espigazón se ha aprovechado el máximo de la capacidad potencial de evapotranspiración del cultivo, para acumular sustancia de reserva. Teniendo en cuenta que en nuestra experiencia se ha considerado toda la planta, incluso espigas, pueden explicarse las diferencias que surgen con el trabajo de ARKLEY (1963), que encontró correlación lineal entre E_a/E_p y Ps , posiblemente con relación al "gran período de crecimiento".

Al estudiar $E_a/E_p = f(H)$ y $E_a/E_p = f(D)$, se observa una relación más directa en este segundo caso; y dado que en un cul-

tivo normalmente desarrollado y sin limitaciones de orden ambiental, existe correlación entre la parte aérea y subterránea de la planta, WEAVER y CLEMENTS (1938), KRAMER (1949), puede inferirse que el ritmo de crecimiento de la raíz y su capacidad de absorción satisfacen las exigencias de la parte aérea en el medio físico correspondiente.

La relación lineal comprobada entre E_a/E_p y D , explica que el aumento de E_a a lo largo del "gran período de crecimiento" se deba al mayor volumen de suelo explorable por las raíces en los períodos sucesivos y al agua fácilmente disponible que encuentran al crecer las raíces en profundidad. Dado el escaso crecimiento de las raíces en terreno seco, comprobado en trabajos de HENDRICKSON y VEIHMEYER (1931), y la tendencia al geotropismo de los cultivos aun con presencia de humedad edáfica al alcance de las raíces laterales, se produce un continuo avance de las raíces hacia abajo.

La profundidad del suelo que exploran las raíces depende en especial de las condiciones ambientales: características físicas del suelo, temperatura, humedad, nivel freático, competencia de otras raíces, etc. Todos estos factores, al afectar el crecimiento radical, actúan también sobre la parte aérea y sobre la evapotranspiración relativa, de donde puede inferirse que no se modifican sustancialmente las relaciones establecidas.

Gran cantidad de evidencias experimentales, entre las cuales cabe mencionar la discusión de la tesis de VEIHMEYER y HENDRICKSON (1955), el trabajo estadístico de STANHILL (1957) y el análisis teórico del proceso evapotranspiratorio realizado por PHILIP (1957) y por GARDNER (1960), confirman que la evapotranspiración relativa disminuye con el potencial de agua en el suelo.

En nuestros ensayos, aun con intervalos próximos a los 15 bares de succión matriz, no se observaron síntomas de marchitamiento, ni tampoco disminución de E_a/E_p , lo que señala que en las condiciones de la experiencia la planta encontró algún aporte al crecer el sistema radical, que para E_p media del ciclo representa 0,51 mm/día.

La profundidad de exploración radical, o el peso de las raíces que comúnmente se usa en los trabajos relacionados con crecimiento, no pueden en realidad interpretarse como una medida del área de absorción de la planta. Sin embargo, la profundidad que abarca la zona de máxima exploración radical y la distribución porcentual de las raíces en las capas de suelo en que puede dividirse la misma, constituyen una forma práctica de estimar la capacidad de extracción de agua y de elementos nutritivos para el cultivo; ya que en la técnica del riego se trabaja con este factor para determinar el turno o intervalo entre dos riegos sucesivos.

Dado que las raíces son activas en toda su profundidad de penetración en el suelo, sin duda se comete un error al considerar sólo la zona de máxima exploración. En nuestro caso, sin embar-

go, dicha profundidad ha representado aproximadamente el 90 % de las raíces y en extracciones de comprobación realizadas en la misma época y aproximadamente similares en condiciones de desarrollo, en suelo franco-limoso de Chacras de Coria, se llegó a igual profundidad. MAXIMOV y KRUZILIN (1936), en condiciones de riego, en un suelo castaño solonésico, encontraron el 85 % del sistema radical del trigo en la capa de 40 cm superficiales.

CONCLUSIONES

Del análisis que antecede se concluye:

1. Existe una relación exponencial o potencial entre la evapotranspiración relativa del trigo y la producción total de materia seca de la planta; y entre la evapotranspiración relativa y la altura de las plantas.

2. La variación de la evapotranspiración relativa durante el "gran período de crecimiento" está directa y linealmente correlacionada con la profundidad de exploración radical.

3. En concordancia con la conclusión 2, el incremento en la evapotranspiración relativa se debe al volumen creciente de la zona de abastecimiento de agua en el suelo para la planta.

4. En las condiciones de la experiencia, el agua extraída por el crecimiento diario en profundidad de la zona de máxima exploración radical, ha representado en promedio el 10 % de la evapotranspiración potencial diaria.

RESUMEN

Las experiencias analizadas en el presente trabajo se realizaron en suelo arcillo-yesoso, en el campo experimental del Instituto de Suelos y Riego, Facultad de Ciencias Agrarias, en El Sauce, departamento Guaymallén, Mendoza.

Los ensayos se realizaron sobre trigo, sembrado a mediados de noviembre, prolongándose las observaciones hasta principios de espigazón. Periódicamente y con intervalos de 7 días se extrajeron plantas de la parcela, determinándose: altura, H ; profundidad de exploración radical, D , y peso seco de las mismas, Ps .

El cultivo se regó periódicamente. En coincidencia con las fechas de extracción de las plantas, se determinó el contenido hídrico del suelo y la evapotranspiración de cada período, en la capa edáfica explorada por las raíces.

Se estudió luego la evapotranspiración relativa, Ea/Ep , en función de diferentes expresiones del crecimiento: H , D y Ps . De dicho análisis se dedujo que la evapotranspiración relativa du-

rante el denominado "gran período de crecimiento", varía potencial o exponencialmente con H y Ps y linealmente con D .

Dado que la relación de evapotranspiración actual a potencial aumenta con D en forma proporcional, aun en condiciones de bajo potencial hídrico en el suelo, se concluye que ello se debe al mayor volumen de suelo explorable por las raíces en períodos sucesivos y al agua fácilmente disponible que encuentran las raíces al crecer en profundidad.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ARKLEY, J. R. 1963. *Relationships between plant growth and transpiration*. Hilgardia, 34 (13): 559-584.
- BLANEY, H. F. and W. D. CRIDDLE. 1950. *Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data*. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service. Technical Paper 96. Washington D. C.
- GARDNER, W. R. 1960. *Dynamic aspects of water availability to plants*. Soil Science, 89 (2): 63-73.
- GRASSI, C. J. 1964. *Estimation of evapotranspiration from climatic formulas*. Master of Science thesis. Utah State University Library. Logan, Utah. (Inédito).
- HALKIAS, N. A., F. J. VEIHMAYER and A. H. HENDRICKSON. 1955. *Determining water needs for crops from climatic data*. Hilgardia, 24: 207-233.
- HENDRICKSON, A. H. and F. J. VEIHMAYER. 1931. *Influence of dry soil on root extension*. Plant Physiology, 6: 567-576.
- JENSEN, M. E. and H. R. HAISE. 1963. *Estimating evapotranspiration from solar radiation*. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 89 (4): 15-41.
- KIJNE, J. W. 1961. *Variation of consumptive use with evaporation during the growing season*. Master of Science thesis, Utah State University Library. Logan, Utah. (Inédito).
- KRAMER, P. J. 1949. *Plant and soil water relationships*. Chapter 6 Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York.
- MAXIMOV, N. A. and A. S. KRUZIMIN. 1936. *Influence of irrigation on the development of the root system of spring wheat plants*. Plant Physiology, 11 (2): 457-460.
- NIJENSOHN, L., C. J. GRASSI y H. PILASI. 1962. *Influencia de la «cuota de riego» en la cantidad de agua almacenada en el suelo*. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. UNC. VIII (1): 43-59.
- PHILIP, J. E. 1957. *The physical principles of soil water movement during the irrigation cycle*. Transactions of the Third Congress on Irrigation and Drainage, 3: 126-154.
- PRUITT, W. O. 1960. *Correlation of climatological data with water requirements of crops*. Annual Report Department of Irrigation. University of California, Davis.

- STANHILL, G. 1957. *The effect of differences in soil moisture status on plant growth: a review and analysis of soil moisture regime experiments.* Soil Science, 84 (3): 205-208.
- WEIHMAYER, F. J. and A. H. HENDRICKSON. 1955. *Does transpiration decrease as the soil moisture decreases?* Transactions American Geographical Union: 36: 425-448.
- WEAVER, J. E. y F. E. CLEMENTS. 1944. *Ecología Vegetal.* Capítulo 11. Acme Agency, Buenos Aires.