

DETERMINACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION EN EL CULTIVO DEL FRIJOL
(*Phaseolus vulgaris* L.) EN CLIMA MUY HUMEDO TROPICAL, TURRIALBA,
COSTA RICA _____ L. Legarda-Burbano*,

RESUMEN

Se estudió la evapotranspiración del cultivo del frijol variedad 27 R, en Turrialba, Costa Rica (clima muy húmedo tropical), bajo condiciones de invernadero del IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica; para ello se utilizó el suelo de la serie La Margoth (Typic Distropet).

Se usó un diseño experimental de bloques al azar con 13 tratamientos y 4 repeticiones. El factor P se calculó en base a la relación ETP/Evaporación; el factor R por medio de la relación ETA/ETP. Se demostró que esta relación disminuyó con el aumento de la succión máxima indicando que para el cultivo de frijol 27 R el agua no es igualmente aprovechable dentro del rango del agua disponible del suelo. El factor F por el contrario aumentó con la edad de la planta, alcanzando su valor máximo al momento de la antesis. A una succión de 0,80 bares se obtuvo la máxima producción de frijol. La evapotranspiración actual y potencial guardan estrechas relaciones con el estado de desarrollo del cultivo de frijol.

ABSTRACT

Evapotranspiration effect on the production of 27 R bean variety, was studied under greenhouse conditions, in IICA-CTEI, Turrialba, Costa Rica. The Margoth soil series (Typic Distropet) was used.

A randomized block design, with 13 treatments and 4 replications. F was estimated by ratio ETP/evaporation; R factor by ratio ETA/ETP. Last ratio ETA/ETP. Last ratio decreased with increasing of maximum suction, showing for bean plant, 27 R, water is not equally available within range of disponible soil water. Factor F increased with aging of plant, reaching its maximum value at anthesis phase. To a suction of 0,80 bares it was obtained a high production of bean. The actual and potential evapotranspiration carries a great relation with the growth of the bean state of the bean cultivate.

INTRODUCCION

Actualmente se tienen coeficientes empíricos o indirectos para el cálculo del consumo de agua de un cultivo dado en una determinada región, pero generalmente dichos datos son extrapolados de otros lugares, principalmente de la

zona templada, cuyas condiciones de clima, suelo y vegetación son diferentes. Por tanto, es conveniente obtener bajo condiciones tropicales estos coeficientes.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se realizó el presente

* Profesor Asistente, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia

estudio cuyo objetivo fue determinar el factor R, el factor F, la evapotranspiración actual, la evapotranspiración potencial, del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad "27 R", en las condiciones de Turrialba (Costa Rica), clima muy húmedo tropical.

REVISION DE LITERATURA

Thornthwaite (16) introdujo el concepto de evapotranspiración potencial para expresar la evapotranspiración que normalmente se verifica en un terreno cultivado, libremente expuesto a la atmósfera y donde nunca falta la humedad del suelo para uso de las plantas. Penman (12) la definió como "la cantidad de agua transpirada en la unidad de tiempo, por un cultivo verde, de altura pequeña y uniforme, que cubre totalmente la superficie del suelo y con óptimo abastecimiento de agua".

En general, se considera el término uso consuntivo equivalente a la evapotranspiración (7) no obstante algunos autores hacen diferencia en la definición de los dos conceptos, considerando que en el uso consuntivo se incluye además la cantidad de agua que forma parte de los tejidos de las plantas, la cual siempre es una cantidad muy pequeña (generalmente no excede del 1%) con relación al volumen de agua transpirada (2, 13). En consecuencia, los dos términos son similares, lo cual ha hecho común que sean empleados indistintamente.

Conviene distinguir entre la evapotranspiración potencial (ETP) o máxima cantidad de agua evapotranspirada cuando el suelo se encuentra bien provisionado de humedad y la evapotranspiración actual (ETA), que es aquella producida cuando la vegetación está sometida a condiciones climáticas y ecológicas de suministro de agua, tal que las plantas no pueden transpirar sino el

agua de que realmente disponen, por estar el suelo parcialmente seco (5, 6, 11, 19). De los conceptos de evapotranspiración actual y evapotranspiración potencial se deriva la relación ETA/ETP , llamada factor R.

Uno de los aspectos básicos para la fiel estimación de la humedad contenida en el suelo es el conocimiento de este índice R, o sea la relación entre el agua influida por el suelo y el agua requerida. Se reportan varios modelos para representar la relación entre R y el porcentaje de humedad en el suelo, indicando cierta controversia entre distintos autores. Una extensa revisión de literatura sobre el caso aparece en un trabajo realizado por Baier (1), así como una aplicación práctica de distintos índices R en la estimación de la humedad del suelo (3).

Según Veihmeyer (19) el agua del suelo es casi igualmente disponible para las plantas desde la capacidad de campo hasta el punto de marchitamiento. Según Thornthwaite (17), esta razón varía linealmente con el cambio de la cantidad de agua disponible en el suelo, es decir, a capacidad de campo es 100% el índice R y a punto de marchitamiento es cero. El modelo propuesto por Eaglesman (3) supone una no reducción del factor R en el rango de humedad disponible en el suelo del 100% al 70%.

Las plantas extraen el agua del suelo contra la succión total con diferentes grados de facilidad, es decir que las plantas tienen su propia capacidad para extraer el agua del suelo, e igualmente el suelo tiene su propia capacidad para proporcionar agua a varios niveles de succión (4).

Mucho más explícita es la literatura acerca de los coeficientes a emplear para cada cultivo, por diferentes autores. Estos factores varían para cada cultivo

y para cada localidad. Se usan frecuentemente factores específicos para cultivos, aplicables a un método determinado. Considerando el consumo de agua por un cultivo cuando aquella en el suelo está a un nivel no limitante, Penman (12), llamó la relación ETP/evaporación de una superficie libre de agua, el factor F, el cual dependerá únicamente de la naturaleza de la cobertura vegetal.

MATERIALES Y METODOS

Para el experimento en el invernadero se escogió el suelo de la serie La "Margoth" del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de Turrialba, Costa Rica, cuyas coordenadas geográficas son : 9°55' N y 83°58' W, con una altitud de 630 msnm. La precipitación total anual es del orden de 2.682 mm, con temperatura media anual de 22,3°C. Según Holdridge (8) pertenece al bosque subtropical muy húmedo (bmh ST). En el invernadero la temperatura media fue de 24,6°C, la humedad relativa media fue de 74% y la evaporación durante las once semanas que duró el experimento fue de 13,8; 27,7; 39,2; 38,6; 41,8; 43,7; 31,8; 37,1; 39,8 y 38,6 mm.

El suelo estudiado posee buenas características agronómicas y pertenece al orden Inceptisoles, suborden Tropepts, gran grupo Dystropepts y subgrupo Typic Dystropepts (10).

El diseño experimental empleado fue el de bloques al azar con 13 tratamientos y 4 repeticiones, utilizándose la variedad de frijol "27 R", de una altura aproximada de 60 a 70 cm y con granos de color rosado, que se sembraron en macetas de una capacidad de 26 kilos. Los tratamientos fueron : 0,003; 0,006; 0,0125; 0,025; 0,050; 0,10; 0,20; 0,40; 0,80; 1,60; 3,20; 6,40 y 12,80 bares de succión máxima.

Los tratamientos 0,003; 0,006; 0,0125; 0,025 y 0,050 bares fueron medidos con tensiómetros de manómetro de agua. Los tratamientos con succiones máximas de 0,10; 0,20; 0,40 y 0,80 bares se midieron con tensiómetros de medidor de vacío de reloj y los tratamientos con succiones máximas de 1,60; 3,20; 6,40 y 12,80 bares se determinaron con un medidor de humedad.

El factor F se determinó por medio de la relación entre la evapotranspiración potencial y la evaporación $F = ETP/EV$. El factor R por medio de la relación entre la evapotranspiración actual y la evapotranspiración potencial, $R = ETR/ETP$.

La evapotranspiración potencial se determinó por medio del tratamiento más húmedo o sea a una succión de 0,003 bares y la evapotranspiración actual se obtuvo de los tratamientos con succiones superiores a 0,003 bares, cuyas tensiones fueron 0,006; 0,0125; 0,025; 0,50; 0,10; 0,20; 0,40; 0,80; 1,60; 3,20; 6,40 y 12,80 bares.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de las observaciones obtenidas durante el experimento se registran en los Cuadros 1 a 3.

Los principales aspectos que afectan el crecimiento y el desarrollo del frijol respecto al factor F y al factor R son el cultivo mismo, el suelo y la succión del agua.

El cultivo depende de las características anatómo-morfológicas y fisiológicas y expresa la variación de su capacidad para extraer agua del suelo, durante el ciclo vegetativo. El tamaño de la planta, expresado por su volumen foliar, gobierna el factor F. Dicho comportamiento es evidente por cuanto el

cultivo aumenta significativamente de tamaño en reducido tiempo. El suelo tiene en cuenta las limitaciones del proceso evapotranspiratorio por el área cubierta y por el ambiente edáfico, excepto la humedad. Con relación a la succión cabe señalar que la velocidad de agotamiento de la humedad no es lineal sino posiblemente exponencial. Este comportamiento concuerda con numerosas experiencias al respecto compiladas por Stanhill (15).

En el Cuadro 3 se muestra como el factor $F = ETP/EV$ sufre pequeños incrementos a medida que aumenta el desarrollo de la planta alcanzando un valor máximo de 2,64 a los 8 semanas de edad del cultivo y luego disminuye a medida que la planta envejece hasta llegar a un valor mínimo al final del período vegetativo de 1,48, es decir cuando la planta ya no requiere dotación de agua. Contrariamente a lo anterior, el factor $R = ETA/ETP$ disminuye gradualmente a medida que en el suelo se incrementa la succión partiendo de un valor máximo a una succión de 0,006 bares hasta descender a los valores más bajos a una succión de 12,80 bares.

Se puede observar en el Cuadro 2 que tanto la evapotranspiración potencial como la evapotranspiración actual del cultivo del frijol, guardan una estrecha relación con el estado de desarrollo del mismo; así los valores de evapotranspiración son reducidos en los primeros estados de desarrollo de la planta y luego aquellos se incrementan constantemente conforme aumenta el crecimiento hasta que en la madurez disminuye notablemente para luego descender hasta su nivel más bajo. Estas variaciones del proceso evapotranspiratorio están en función de la relación existente entre el suelo cubierto, las plantas y la superficie foliar en sus distintas etapas de desarrollo. El descenso de la evapotranspiración en la etapa final

del cultivo se debe indudablemente al envejecimiento de las hojas.

La evapotranspiración potencial, considerando una condición muy húmeda (0,003 bares) presenta valores bastante altos, lo cual puede considerarse como normal en razón de que los principales factores que afectan este proceso tal como la temperatura, la humedad relativa y las horas de brillo solar diarias también son altos. En cambio la evapotranspiración actual en los demás tratamientos es normal, disminuyendo con el incremento de la succión (Cuadro 2).

Se encontró que el crecimiento y rendimiento del cultivo del frijol, producido por diferentes niveles de succión matriz, es mayor en los tratamientos con niveles intermedios de humedad y las plantas experimentaron mayor dificultad en extraer agua del suelo cuando el factor R disminuye, es decir que el frijol manifiesta efectos marcados en su crecimiento al variar su contenido de humedad (Cuadro 3).

Se puede apreciar en el Cuadro 1, que de los resultados obtenidos el rendimiento, la materia seca y el número de vainas por tratamiento aumentan en forma relativamente rápida con el incremento de la succión desde 0,003 bares hasta alcanzar una producción óptima de 0,80 bares. La rata de disminución de la producción entre estas succiones es de 238 gramos por bar de cambio. Valores superiores a 0,80 bares de succión afectaron negativamente la producción del frijol, notándose una disminución más suave de 14 gramos en promedio por bar de cambio, a medida que la succión crece hasta llegar a 12,80 bares, límite máximo estudiado, donde el rendimiento llega a su más baja producción.

En el tratamiento de succión máxima de 0,80 bares se observó a través

del crecimiento de la planta un mayor desarrollo de la parte aérea, una floración más abundante, y se obtuvo mayor producción tanto del rendimiento, materia seca y el número de vainas.

En los tratamientos con succiones altas (3, 30; 6, 40 y 12, 80 bares) el suelo que tiene poca humedad retiene tan tenazmente el agua que le queda por las fuerzas de adhesión, que las plantas deben efectuar un consumo extraordinario de energía para obtener el agua que necesitan. Esto demuestra que el agua del suelo no es igualmente aprovechable entre la capacidad de campo y el punto de marchitez, que concuerda con las ideas expuestas por Richards y Wadleigh (14), Vaadiá et al (18) y en contraposición con los principios de Veihmeyer y Hendrickson (20).

La planta absorbe más agua del suelo a medida que aumenta su crecimiento y por consiguiente su edad. Así en las primeras fases de crecimiento la demanda de agua es poca, aumentando a medida que avanza el desarrollo radical y la parte aérea de la planta, por esta razón la succión, el factor F, el factor R y la evapotranspiración sufren gradualmente pequeñas variaciones semana tras semana.

De lo anterior se puede considerar que el consumo de agua está asociado con el período vegetativo del frijol, y esta relación es fuertemente marcada al momento de la floración y fructificación, es decir a mayor área foliar mayor consumo de agua.

CONCLUSIONES

1. Se obtiene una máxima producción de frijol a una succión de 0, 80 bares. Succiones inferiores y superiores a 0, 80 bares disminuyen la producción.
2. El factor $F = ETP / \text{Evaporación}$ aumenta con la edad de la planta, alcanzando su valor máximo al momento de la antesis.
3. El factor $R = ETA / ETP$ disminuye con el aumento de la succión máxima, indicando que para el frijol el agua no es igualmente aprovechable dentro del rango de agua disponible del suelo.
4. Los valores de evapotranspiración potencial y evapotranspiración actual guardan estrecha relación con el estado de desarrollo del cultivo, o sea que el consumo de agua está asociado con el período vegetativo del frijol.

LITERATURA CITADA

1. BAIER, W. Concepts of soil moisture availability and their effect on soil moisture estimates from a meteorological budget. *Agricultural Meteorology* 6 : 165-178. 1969.
2. CASTILLA, P.O. Determinación práctica del uso consuntivo. *Revista de Ingeniería Hidráulica en México* 19(4): 39-43. 1965.
3. EAGLEMAN, J.R. An experimentally derived model for actual evapotranspiration. *Agricultural Meteorology* 8: 385-394. 1971.
4. FORSYTHE, W. Las propiedades físicas, los factores físicos de crecimiento y la productividad del suelo. *Fitotecnia Latinoamericana* 4 : 165-176. 1967.

- 5 GRASSI, C.J. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimientos de riego con fines de formulación y diseño de proyectos. Mérida (Venezuela), Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1968. 100 p.
6. HARDY, F. Edafología tropical. México, Herreros, 1970. 416 p.
7. ISRAELSEN, O.W. y HANSEN, V.E. Irrigation principles and practices. 3th ed. New York, Wiley. 1962. 350 p.
- 8 HOLDRIDGE, L.R. Mapa ecológico de Costa Rica. Turrialba, IICA, 1959. Escala 1:1.000.000.
9. LEGARDA, B. L. y FORSYTHE, W. Estudio comparativo entre la evaporación calculada por varias fórmulas y la evaporación del tanque, medida en tres lugares tropicales. Turrialba 22: 282-292. 1972.
- 10 _____ . Influencia de la succión máxima del agua y del espacio aéreo del suelo sobre la producción de la variedad "27 R" del frijol (Phaseolus vulgaris L.). Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 120 p.
11. MAKKINK, C.F. y HEEMET, J. Van. The actual evapotranspiration and the as function of the soil moisture tension. Netherlands Journal of Agricul. Science 4(1): 67-72. 1956.
- 12 PENMAN, H.L. Natural evaporation from open base soil and grass. Proceedings Royal Society of London. A.193. 1948. pp. 120-146.
13. PEREZ, E.H. Un paso de C.W. Thornthwaite hacia una clasificación racional del clima. Revista de Ingeniería Hidráulica de México 21(3): 174-190. 1967.
14. RICHARDS, L.A. y WADLEIGH, C.H. Soil water and plant growth. In Shaw, B. ed. Soil physical conditions and plant growth. New York, Academic Press, 1952. V. 2. 73-251.
15. STANHILL, C. The effect of differences in soil-moisture status on plant growth. Soil Science 84: 25-214. 1957.
16. THORNTHWAITE, C.A. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review 38(1): 55-94. 1948.
- 17 _____ . The water budget and its use in irrigation. In Water Yearbook of Agriculture. United States Department of Agriculture. 1955. pp. 346-367.
18. VAADIA, Y., RANEY, P.C. y HAGAN, R.N. Plant water deficits and physiological processes. Annual Review of Plant Physiology 12: 265-292. 1961.

Cuadro 1. Rendimiento, materia seca y número de vainas por tratamiento, a diferentes succiones máximas

Tratamiento bares	Rendimiento g	Materia seca g	Número de vainas
0,003	39,25	10,90	22
0,006	83,93	54,40	42
0,0125	103,72	50,30	59
0,025	156,00	81,70	65
0,050	163,54	78,20	75
0,10	175,92	104,70	79
0,20	188,58	106,50	86
0,40	209,21	111,60	100
0,80	229,54	123,95	118
1,60	151,15	113,60	84
3,20	143,42	52,80	59
6,40	67,06	47,10	40
12,80	56,72	33,20	34

Press, 1957, V. 2, 73-231

17. STANBULL, G. The effect of differences in soil moisture status on plant growth. Soil Science 25: 214, 1937.

18. THOMENTWALTE, C. A. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review 38(1): 55-94, 1948.

19. The water budget and its use in agriculture. In Water Use in Agricultural, United States Department of Agriculture, 1953, pp. 346-367.

20. YAMADA, T., BANDY, P. C. y SACAN, R. N. Plant water deficits and physiological processes. Annual Review of Plant Physiology 12: 205-222, 1961.

Cuadro 2. Promedios semanales de consumo de agua del frijol durante el experimento teniendo en cuenta la edad de las plantas y la succión del agua del suelo. El tratamiento de succión 0,003 bares corresponde a la evapotranspiración potencial (ETP) en mm y los demás tratamientos corresponden a la evapotranspiración actual (ETA) en mm

Fecha		Succión (bares)										Evapotranspiración actual (mm)		
Número de semanas, días, meses	ETP mm	0,003	0,006	0,0125	0,025	0,050	0,10	0,20	0,40	0,80	1,60	3,20	6,40	12,80
1 5 8 Enero	11	9	8	7	9	7	6	6	6	4	4	5	4	4
2 9 15 "	24	20	17	17	15	15	9	9	9	7	8	8	7	7
3 16 22 "	31	29	26	27	31	23	14	14	10	10	8	8	7	7
4 23 29 "	43	39	34	36	37	34	17	23	16	10	8	8	7	7
5 30 Ene. - 5 Feb	53	48	45	41	45	45	32	34	25	24	12	9	7	7
6 6 - 12 Febrero	62	56	52	51	56	50	46	40	33	32	27	14	9	9
7 13 19 "	74	69	65	61	60	56	51	47	47	36	35	22	14	14
8 20 26 "	84	80	74	64	64	60	56	52	50	38	40	36	19	19
9 27 Feb - 4 Marzo	74	70	69	62	58	55	47	43	40	40	38	31	29	29
10 5 - 11 Marzo	68	64	60	53	48	48	45	38	35	34	32	19	18	18
11 12 - 18 "	57	52	45	38	34	36	30	27	22	21	19	13	12	12

Cuadro 3. Determinación del factor $F = ETP/EV$ y del factor $R = ETA/ETP$ del frijón durante el experimento, teniendo en cuenta la edad de la planta y la succión del agua del suelo.

Fecha	Succión (bares)												
Número de semanas, días, meses	Factor F	0,006	0,0125	0,025	0,050	0,10	0,20	0,40	0,80	1,60	3,20	6,40	12,80
		Factor R											
1 5 - 8 Enero	0,80	0,82	0,73	0,64	0,82	0,64	0,55	0,36	0,36	0,36	0,45	0,45	0,36
2 9 - 15 "	0,87	0,83	0,71	0,71	0,63	0,63	0,38	0,29	0,33	0,33	0,38	0,38	0,29
3 16 - 22 "	0,68	0,94	0,84	0,87	1,00	0,74	0,45	0,32	0,26	0,26	0,29	0,29	0,23
4 23 - 29 "	1,10	0,91	0,79	0,84	0,86	0,79	0,40	0,53	0,37	0,23	0,19	0,21	0,16
5 30 Ene. - 5 Feb.	1,37	0,91	0,85	0,77	0,85	0,85	0,60	0,64	0,47	0,45	0,23	0,17	0,13
6 6 - 12 Febrero	1,48	0,90	0,84	0,82	0,90	0,81	0,74	0,65	0,53	0,52	0,44	0,23	0,15
7 13 - 19 "	1,69	0,93	0,88	0,82	0,81	0,76	0,69	0,64	0,61	0,49	0,47	0,30	0,19
8 20 - 26 "	2,64	0,95	0,88	0,76	0,76	0,71	0,67	0,62	0,60	0,45	0,48	0,43	0,23
9 27 Feb. - 4 Marzo	1,99	0,95	0,93	0,84	0,78	0,74	0,64	0,58	0,54	0,54	0,51	0,42	0,39
10 5 - 11 Marzo	1,71	0,94	0,88	0,78	0,71	0,63	0,66	0,57	0,51	0,50	0,47	0,28	0,26
11 12 - 18 "	1,48	0,91	0,79	0,67	0,60	0,63	0,53	0,47	0,39	0,37	0,33	0,23	0,21

* Para tratamiento 0,003 bares, $R = 1$