

8245  
8245

AGUA RELACIONES Y MANEJO 1/

O Voyses V 2/



Todos los agrónomos saben que el agua mas el  $CO_2$  en presencia de luz y clorofila da lugar a la producción de azúcares. Esta ecuación tan simple describe el proceso de la fotosíntesis, pero si a esto además agregamos el rol que el agua juega en la absorción y transporte de nutrientes es fácil explicarse por qué las plantas son tan voraces consumidoras de este líquido y por que la falta de agua constituye el principal factor limitante para obtener mayores rendimientos en cualquier cultivo.

El crecimiento de las plantas depende del ritmo de trabajo de muchos procesos fisiológicos, los cuales a su vez están muy relacionados con el balance interno de agua y la turgencia de la planta. El balance interno del agua no es una condición independiente sino que es controlada por las tasas relativas de absorción y pérdida de agua y por lo tanto todos los factores del suelo, clima y planta que influyen en estos procesos afectan también el crecimiento de la planta y modifican su respuesta a las condiciones de humedad del suelo.

La absorción de agua por las raíces depende del abastecimiento de agua en la zona radical, por ello donde no se reemplaza frecuentemente, por riego o lluvia, el agua que las raíces extraen, es importante que el sistema radical se expanda continuamente o que este ocupe un volumen grande de suelo para proveer a la planta con suficiente agua para reemplazar las pérdidas por transpiración. Por lo tanto, todos los factores que afectan el crecimiento de la raíz o la ocupación por parte de la raíz de un volumen mas amplio de suelo, afectan también la absorción de agua por la planta.

La entrada del agua a las raíces depende de la extensión de la zona absorbente de las raíces, de la permeabilidad de la corteza radical al movimiento de

---

1/ Tópico presentado en el curso intensivo de producción de frijol, CIAT

2/ Agronomo, Programa de Frijol, CIAT

agua y del potencial de agua, pero el movimiento del agua a través de la raíz y los elementos conductores del xilema hacia las hojas es iniciado y en gran parte controlado por la transpiración de las hojas, en respuesta a la gradiente de potencial de agua que se extiende del agua del suelo, a través de la planta, hacia la atmósfera

El balance interno de agua de las plantas es controlado por las tasas relativas de absorción y pérdida de agua. Cuando las condiciones son tales que la tasa de pérdida de agua excede la tasa de absorción de agua, se desarrolla en la planta un déficit de agua interno y es este déficit, a través de su influencia en los procesos fisiológicos de la planta, el responsable directo de los efectos en el crecimiento y rendimiento de las plantas, antes que el efecto indirecto de factores tales como el contenido de agua en el suelo o la tasa absoluta de absorción de agua sobre la transpiración.

Los factores que influyen en las relaciones agua-planta y por lo tanto en su crecimiento y rendimiento pueden ser agrupados de la siguiente manera

- a) Factores del suelo: contenido de agua en el suelo, textura, estructura, profundidad, salinidad, fertilidad, aireación, temperatura, drenaje
- b) Factores de la planta: tipo de cultivo, densidad y profundidad de enraizamiento, tasa de crecimiento de la raíz, tolerancia a la sequía, efectos varietales
- c) Factores climáticos: brillo solar, temperatura, humedad, viento, lluvia
- d) Otros factores: volumen del suelo y distancia de siembra, manejo del suelo y el cultivo

Factores del suelo El contenido de agua absoluto de un suelo da poca información de la disponibilidad de agua por las raíces a menos que se conozcan los detalles sobre las formas que retiene el agua en el suelo y

de las varias características de humedad del suelo

El agua del suelo asume 3 formas diferentes, según la naturaleza de las fuerzas que la retienen 1) agua higroscópica, 2) agua capilar y 3) agua gravitacional

El agua higroscópica es aquella que se halla retenida en el suelo por fuerzas de absorción, cuyo valor está en equilibrio con la presión de vapor del aire circundante y por ello variara con la humedad relativa y la temperatura del ambiente Esta agua se encuentra retenida en el suelo con una tensión mayor de 13 6 atmósferas y es considerada como agua inutil por las plantas

El agua capilar es aquella que está por encima del agua higroscópica y que el suelo retiene debido a fuerzas de tensión superficial, contra la fuerzas de gravedad Esta es el agua considerada aprovechable

El agua gravitacional es la que esta por encima del agua capilar y que es susceptible de moverse en el suelo por la fuerza de gravedad Esta agua esta retenida en el suelo con una tensión menor de 0 5 atmosferas y suele denominarse agua superflua

Al considerar las relaciones agua-suelo, hay que tener en cuenta ademas dos constantes el coeficiente de marchitez y la capacidad de campo

El coeficiente de marchitez es una constante de origen fisiológico y representa el límite mínimo de humedad debajo del cual las plantas no pueden extraer humedad del suelo para efectuar un desarrollo normal La tensión con que esta agua es retenida en el suelo equivale a unas 13 6 atmósferas que parece estar en equilibrio con la máxima capacidad de succión de la mayoría de las plantas cultivadas El valor del coeficiente de marchitez puede considerarse prácticamente igual para todas las plantas den ro de un mismo suelo, pues tal como se observa en la Fig 1 la variación del contenido de humedad en la zona que está

sobre el coeficiente de marchitez ocasiona cambios muy ligeros en la fuerza de succión, mientras que apenas un ligero cambio de humedad en la zona inferior a ese coeficiente implica un aumento considerable en dicha fuerza. Es obvio que aun existiendo diferencias entre distintas especies respecto a la verdadera relación entre su coeficiente de marchitez y el contenido de humedad en el suelo, las diferencias resultarían muy pequeñas.

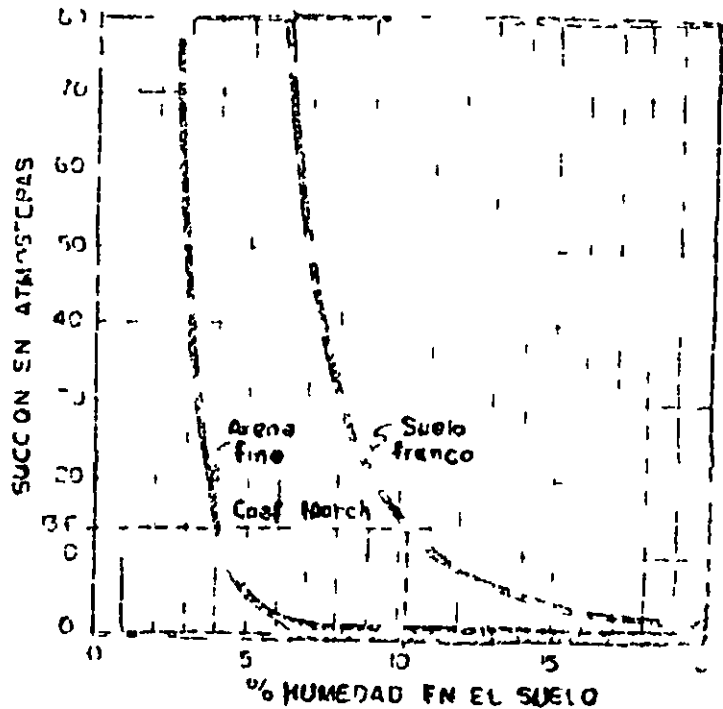


FIG 112 Variación del contenido de humedad en relación con la fuerza de succión

La capacidad de campo es una constante que tiene un origen físico, representa el contenido de humedad en el suelo después que el agua que éste contiene ha dejado de fluir por gravedad. Lógicamente, la capacidad de campo representa la máxima capacidad de almacenamiento de agua de un suelo. Toda el agua comprendida entre el coeficiente de marchitez y la capacidad de campo es el agua considerada aprovechable.

En la Figura 2 se resume la clasificación del agua del suelo junto con sus límites correspondientes de tensión equivalente.

Estado	Humedad	Capacidad	Coeficiente	Altiplano
0	1	2	3	4
1	2	3	4	5
2	3	4	5	6
3	4	5	6	7
4	5	6	7	8
5	6	7	8	9
6	7	8	9	10
7	8	9	10	11
8	9	10	11	12
9	10	11	12	13
10	11	12	13	14
11	12	13	14	15
12	13	14	15	16
13	14	15	16	17
14	15	16	17	18
15	16	17	18	19
16	17	18	19	20
17	18	19	20	21
18	19	20	21	22
19	20	21	22	23
20	21	22	23	24
21	22	23	24	25
22	23	24	25	26
23	24	25	26	27
24	25	26	27	28
25	26	27	28	29
26	27	28	29	30
27	28	29	30	31
28	29	30	31	32
29	30	31	32	33
30	31	32	33	34
31	32	33	34	35
32	33	34	35	36
33	34	35	36	37
34	35	36	37	38
35	36	37	38	39
36	37	38	39	40
37	38	39	40	41
38	39	40	41	42
39	40	41	42	43
40	41	42	43	44
41	42	43	44	45
42	43	44	45	46
43	44	45	46	47
44	45	46	47	48
45	46	47	48	49
46	47	48	49	50
47	48	49	50	51
48	49	50	51	52
49	50	51	52	53
50	51	52	53	54
51	52	53	54	55
52	53	54	55	56
53	54	55	56	57
54	55	56	57	58
55	56	57	58	59
56	57	58	59	60
57	58	59	60	61
58	59	60	61	62
59	60	61	62	63
60	61	62	63	64
61	62	63	64	65
62	63	64	65	66
63	64	65	66	67
64	65	66	67	68
65	66	67	68	69
66	67	68	69	70
67	68	69	70	71
68	69	70	71	72
69	70	71	72	73
70	71	72	73	74
71	72	73	74	75
72	73	74	75	76
73	74	75	76	77
74	75	76	77	78
75	76	77	78	79
76	77	78	79	80
77	78	79	80	81
78	79	80	81	82
79	80	81	82	83
80	81	82	83	84
81	82	83	84	85
82	83	84	85	86
83	84	85	86	87
84	85	86	87	88
85	86	87	88	89
86	87	88	89	90
87	88	89	90	91
88	89	90	91	92
89	90	91	92	93
90	91	92	93	94
91	92	93	94	95
92	93	94	95	96
93	94	95	96	97
94	95	96	97	98
95	96	97	98	99
96	97	98	99	100

Fig 2 Relaciones y constantes de la humedad del suelo

Hay bastante divergencia en las opiniones respecto al grado al cual el crecimiento de la planta es afectado por las tensiones de humedad del suelo entre los límites superior e inferior de disponibilidad de agua (capacidad de campo y coeficiente de marchitez). Una escuela sostiene que el crecimiento de la planta es muy poco afectado por las variaciones de la humedad del suelo entre estas dos condiciones, mientras que otra dice que el crecimiento de la planta es progresivamente afectado conforme aumenta la sequedad desde la capacidad de campo.

Sin entrar a discutir los argumentos en que se basan estas dos posiciones antagónicas, es bueno sí señalar que en el caso del frijol las variaciones de humedad, según el estado fisiológico del cultivo, sí tienen importancia, como veremos más adelante

Una cosa sí es importante tener en cuenta, y esto es que a medida que el suelo se va secando, pasando de su capacidad de campo hacia el porcentaje de marchitez permanente, hay un aumento en la fuerza que resiste la absorción del agua, fuerza que tiene dos componentes, la tensión de humedad del suelo y la presión osmótica de la solución del suelo. Es por esto, por ejemplo, que el contenido de sal del suelo puede alterar las relaciones de agua de los cultivos, especialmente en suelos salinos, a través de su efecto en la presión osmótica de la solución del suelo. Bajo condiciones normales, en suelos no salinos, sin embargo, la textura del suelo, su estructura y profundidad tienen una influencia más grande, en la medida que estas características determinan no solo la capacidad del suelo para almacenar agua disponible para las plantas, sino también la facilidad con que el agua del suelo puede ser alcanzada y absorbida por las raíces. El crecimiento de las raíces y la extensión de sus ramificaciones también son influenciadas por la textura del suelo, su estructura y profundidad, así como por la aireación, temperatura, fertilidad y manejo del suelo. Por lo tanto, la cantidad de agua accesible y disponible para las plantas es influenciada por muchos factores del suelo, que es necesario tener en cuenta

Factores de la planta La respuesta de las plantas a las condiciones de humedad del suelo son influenciadas por factores tales como tipo de planta, características del sistema radical, resistencia a la sequía, etc. Tomaremos como ejemplo el caso del frijol. El frijol es una planta anual

con un período vegetativo que se extiende desde los 75 hasta los 180 días, según las variedades. Su sistema radical puede alcanzar hasta 1.5 mts de profundidad, sin embargo, la mayor cantidad del agua que requiere la obtiene de los 0.60 mts superiores del suelo. En la Fig. 3 se muestra el desarrollo de las raíces de una planta típica de frijol.

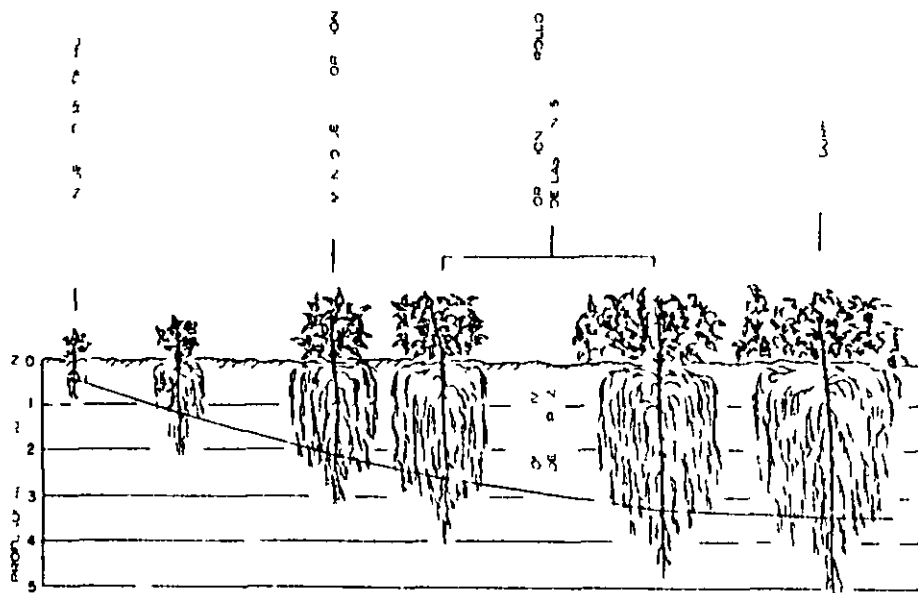


Fig. 3 Desarrollo de las raíces del frijol

Cuando nacen las plantulas, las raíces tienen alrededor de 7.5 a 10 cm de longitud. A medida que las raíces profundizan y penetran en el suelo, las plantas pueden utilizar mejor la humedad concentrada en las capas más profundas del suelo. Cuando la floración ocurre, las raíces ya se están desarrollando en los primeros 30 cm de tierra e inclusive en algunos casos alcanzan los 60 cm de profundidad. Para el momento de la maduración de las vainas, las raíces se habrán desarrollado a lo largo de los primeros 90 cm de profundidad del suelo y otras habrán penetrado, extrayendo agua a profundidades de 1.2 y 1.5 metros.

Los estados fisiológicos de crecimiento de la planta tienen influencia en las relaciones de agua en la planta. El frijol, como muchas otras plantas anuales, puede tolerar períodos de sequía en ciertas porciones de su ciclo de vida sin que el rendimiento sea afectado. Por ejemplo, los requerimientos de agua antes de la floración son más bajos, en cambio el período de desarrollo de las células sexuales sí parece ser muy sensible a la escasez de humedad.

La razón por la cual la escasez de humedad es menos crítica en la fase vegetativa podría deberse al hecho que los asimilatos acumulados durante la fase vegetativa son poco usados en la producción del cultivo (granos, vainas) en cambio, son las condiciones de asimilación al tiempo de floración y fructificación las que tienen mayor importancia. El desarrollo de las vainas y granos requiere altos niveles de nutrientes de manera que la escasez de humedad en la fase del desarrollo es crítica pues restringe la absorción de nutrientes a través del torrente respiratorio. Ensayos realizados en Estados Unidos por Robins y Domingo (Agron J 48 67-70 1956) para medir los efectos de la escasez de agua en diferentes estados de desarrollo del frijol en el campo han mostrado una reducción de rendimiento del 20% cuando los déficits de humedad se manifestaban 15 días antes de la floración, de 18 a 20 días durante la floración y más o menos 15 días antes de la maduración de las primeras vainas. El déficit de humedad antes de la floración afecta el rendimiento a través de una reducción en el número de vainas, durante la floración, la escasez de agua tiene efecto sobre el número de vainas y número de semillas por vaina mientras que el déficit de humedad durante el proceso de maduración repercute en el peso de los granos. El desarrollo de la planta se ve retardado cuando el déficit de humedad se produce antes de la floración, pero se acelera cuando déficits similares se producen durante la floración y durante el proceso de maduración.



En Alemania, Dreibrodt (Z Acker-u PflBau, 95 353-359 1952) encontró que cuando las plantas de frijol sufren sequía en sus estados tempranos de crecimiento, los rendimientos eran bajos aun cuando mas tarde se les proporcionara la cantidad de agua adecuada y esto superaba que algun daño irreversible era causado por una sequía antes de la floración. La sequía durante el período de establecimiento de las vainas también causaba reducción en los rendimientos. El mismo Dreibrodt (Z Acker-u PflBau 97 203-12 1953) encontró que el riego al inicio de la floración y al momento del establecimiento de las vainas aumentaba el rendimiento pero que el riego en el momento de plena floración tenía efectos dañinos.

Kriegbaum (Z Acker-u PflBau 100 99-132 1955) encontró que el riego aplicado durante el período desde la germinación hasta justo antes de la floración no tenía efecto sobre el rendimiento, pero cuando el agua se proporcionaba 10 días antes y luego 10 días después de la floración, entonces se obtenían los mas altos rendimientos. Esto se explicaba por un aumento en el número de semillas por vaina y en el número de vainas. El riego durante la floración no afectó el peso de las semillas, pero el riego durante el crecimiento de las vainas aumentó el peso de las semillas en un 6%. Frohlich y Henkel (Hort Abstr 32 No 4872 1961) obtuvieron resultados similares. El riego antes de la floración tuvo poco efecto en el rendimiento, mientras que el riego al inicio de la floración aumento el rendimiento en 50 kg/ha por mm de agua aplicada.

En Holanda, Bierhuizen y de Vos (Rep Cont suppl Irrig Comm VI Int Soc Soil Sci, Copenhagen, 1958, pp 83-92) encontraron que el crecimiento vegetativo del frijol era afectado cuando la sequía en los 0-30 cm superiores del suelo aumentaba a un pF 3-5 antes de la floración. No hubo influencia sobre el rendimiento, éste sí se vio afectado cuando la sequía se mantenía durante la floración,

principalmente debido a la abscision de flores y vainas jóvenes Stolp (Versf  
landbouwk Onderz 6: 16 1960) también encontró que el frijol es sensible a la  
sequía y que el riego hasta la mitad del periodo de floración es el que tiene los  
efectos más favorables

En el Estado Unidos Mattan y Fleming (Proc Amer Soc Cit Cit 32: 42  
1956) encontraron que mientras el contenido de humedad sea alto al tiempo de la  
siembra un riego antes del momento de la primera antesis no tenía ningún valor  
aun cuando esta sea en este periodo de pre-floración dada por resultado que  
las plantas no crecieron normalmente siempre y cuando el riego fuera abundante  
en la floración y durante el establecimiento de las vainas. Un abastecimiento  
suficiente de agua antes de la floración y una un buen desarrollo vegetativo  
pero no necesariamente aumenta el rendimiento. Los riegos durante la floración  
y el periodo de desarrollo de las vainas en cambio sí tienen un influencia decisiva  
en el rendimiento

Gabelman and Williams (Res Bull Wis Agric Exp Stat 221 1960) encontra-  
ron que para obtener los máximos rendimientos en frijol, deberían darse riegos  
frecuentes después del inicio de la floración para mantener la humedad disponible  
en el suelo arriba del nivel de 507. La mayor parte del incremento en el rendi-  
miento se debió a una reducción en el porcentaje de abscision de flores y vainas

En base a todas las evidencias presentadas es posible concluir que en el  
frijol la falta de agua durante la floración y el desarrollo de las vainas es un  
factor crítico que afecta seriamente los rendimientos y es precisamente en este  
periodo cuando el riego tiene sus mayores efectos benéficos. El efecto negativo  
de la falta de humedad entre el periodo de la siembra y la floración no hay un

concordancia encontrada entre los diversos investigadores que han estudiado este problema pues mientras que los estudios en Europa han mostrado reducción del crecimiento vegetativo pero sin afectar los rendimientos en los Estados Unidos los investigadores han encontrado que la falta de humedad entre la siembra y la floración sí afecta los rendimientos del frijol.

**Factores del clima** Los factores del clima tales como la radiación neta, temperatura y el viento pueden tener una gran influencia en el balance hídrico de la planta debido a sus efectos en la tasa de transpiración. Para efectos didácticos podríamos asumir un día típico de verano en el trópico: cielo sin nubes, suelo con humedad suficiente y temperatura máxima en el rancho de 30 a 35°C y estudiar las relaciones entre el agua y la planta en este caso el frijol, en función de algunos factores ambientales.

Antes de la salida del sol, será posible ver las hojas cubiertas de rocío lo cual es debido a la condensación de humedad presente en la superficie de las hojas, las cuales por la irradiación del calor se han enfriado. El aire está más caliente que las hojas y además tiene alta humedad relativa y esto impide que la planta pierda agua en forma de vapor (transpiración). En este momento, todos los tejidos de la planta se encuentran con su más elevado grado de saturación y precisamente por ello la absorción de agua por las raíces está en su más bajo nivel.

Al salir el sol empieza a producirse la pérdida de agua en la planta. El aumento de temperatura provoca primero la evaporación del rocío presente en la superficie de las hojas y luego la transpiración propiamente dicha, la cual puede producirse por los estomas o la epidermis de la hoja según haya o no luz. Como consecuencia del aumento gradual en la transpiración la tensión hídrica en los tejidos de la hoja disminuye provocando el movimiento ascendente del agua de las raíces a las hojas. Tanto la transpiración como la absorción de la humedad del

su lo siguen el ciclo de la temperatura y la intensidad de luz durante el día. A medida que estos procesos de la planta son más intensos a pesar de que la temperatura más alta ocurre generalmente más tarde sin embargo para este entonces la hidratación de los tejidos de la hoja hace que la apertura de los estomas disminuya y con ello se restringe la pérdida de agua.

A medida que la intensidad de la luz y la temperatura disminuyen, la pérdida de agua va disminuyendo gradualmente. Alrededor de las 6:00 p.m. los estomas están cerrados completamente. El valor de la transpiración durante el día siempre es el al de la absorción de agua por las raíces debido a la resistencia que ofrecen los tejidos de la planta a la absorción y movimiento ascendente del agua. La menor cantidad de agua en la planta se registrará generalmente entre las 3 y 4 de la tarde cuando el déficit de presión de difusión del agua en la planta alcanza su máximo valor. Como quiera que este déficit se prolonga hasta un después que los estomas están cerrados y la transpiración se haya paralizado lo que ocurre en las primeras horas de la noche, es hasta este entonces que hay absorción y movimiento de agua lo que solo cesa cuando los tejidos de la planta se hayan saturado nuevamente, aproximadamente en horas de la madrugada.

Cuando la transpiración predomina sobre la absorción pero el porcentaje de agua en el suelo no ha llegado al punto de marchitez las plantas sufren de un marchitamiento temporal, así llamado pues las plantas recuperan su turgencia en la noche, sin que haya necesidad de añadir agua al suelo. Generalmente, en las horas de la tarde (2-4 p.m.) cuando el déficit de agua alcanza sus valores más altos (Fig. 4), es cuando se observa este tipo de marchitamiento. Esto puede considerarse como un fenómeno normal de la planta en días de sol intenso.

El marchitamiento permanente de la planta se manifiesta cuando el porcentaje de agua en el suelo llega al punto de marchitez. En este caso sólo es posible recuperar la turgencia de la planta mediante la irrigación del suelo.

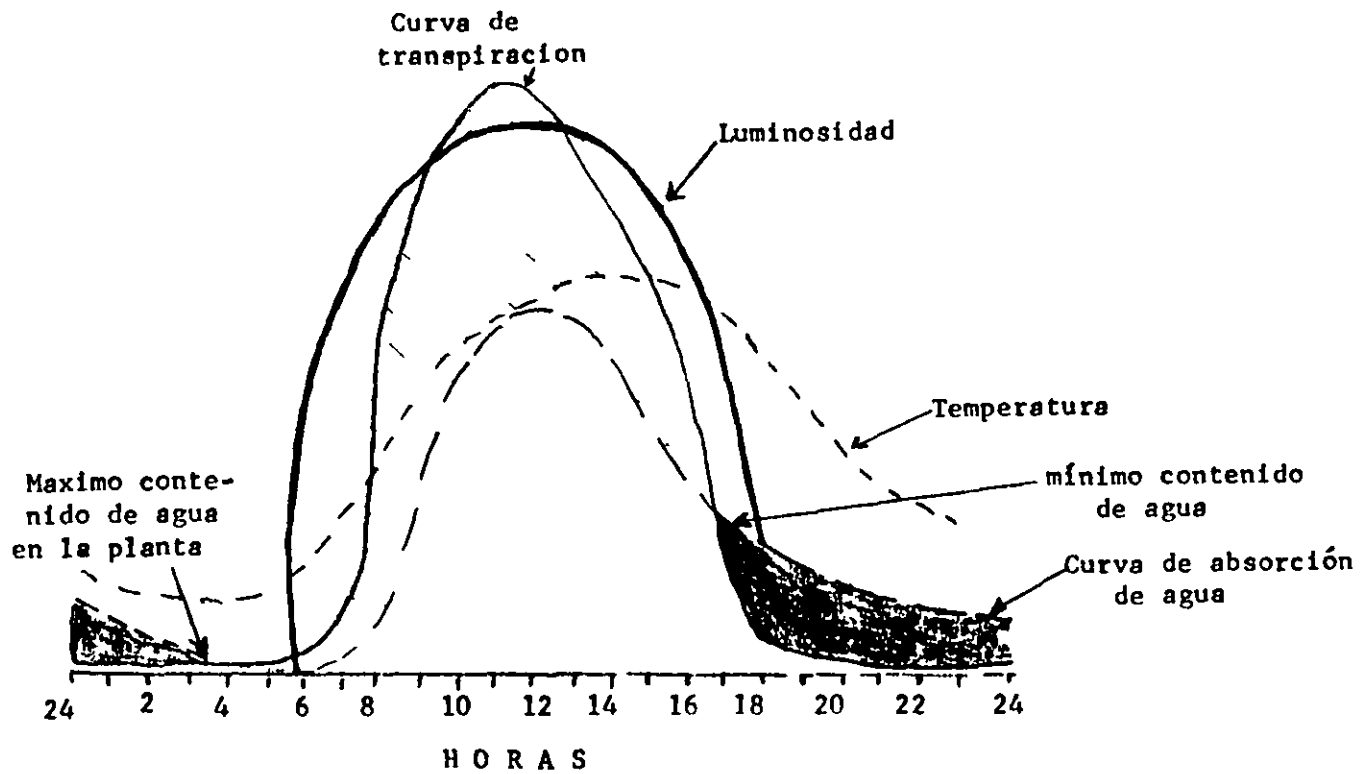


Figura 4 Curva de los valores relativos de la luminosidad y la temperatura y marcha probable de la transpiracion y absorción de agua de la planta en un día normal de verano

de la falta de agua en el suelo no repercute en la cantidad de agua necesaria para satisfacer las existencias de la reacción química de la fotosíntesis sino que es indirecto, limita el aprovisionamiento de CO<sub>2</sub> por parte de la planta al impedir la apertura de los estomas

Hay bastante evidencia que la rata de difusión del CO<sub>2</sub> es uno de los mayores factores limitantes de la fotosíntesis. Los niveles de CO<sub>2</sub> no pueden ser cambiados de modo que el único modo práctico de mantener el ritmo de absorción de CO<sub>2</sub> es mediante la apertura de los estomas

En muchos casos el rendimiento está relacionado con el desarrollo de la superficie foliar o el índice de área foliar y la falta de humedad generalmente reduce el tamaño de las hojas en relación con otras partes de la planta, lo cual conduce al desarrollo de una superficie foliar reducida con respecto a los valores óptimos para el crecimiento y producción

La deficiencia de agua en el suelo también afecta la nutrición mineral de las plantas. Un suelo seco hace que la permeabilidad de las células de las raíces disminuya y con ello afecta la absorción de los minerales, estos a su vez encuentran dificultad para disolverse por falta de humedad. Debido a que el nitrógeno generalmente es el elemento mineral del suelo que las plantas utilizan en mayor cantidad cuando hay una sequía prolongada las plantas muestran una clorosis característica de la deficiencia de nitrógeno

Si bien es cierto que la cantidad de agua en el suelo no afecta el fenómeno de la diferenciación de la planta, lo cual es más bien influenciado por la temperatura y el fotoperiodismo, las condiciones de humedad sí ejercen influencia sobre los fenómenos de crecimiento asociados con la floración y fructificación. La deficiencia de agua puede causar caída de flores y vainas y afecta el desarrollo de estas últimas

comiencen a madurar. Estudios en el Perú, con sistema de riego controlado han mostrado que el consumo de agua en un campo promedio de frijol con buenos rendimientos está alrededor de los 2500 metros cúbicos por hectárea. En estos estudios se han ensayado cantidades de agua que varían entre 2000 a 5000 m<sup>3</sup>/ha, los intervalos de riego y el efecto combinado de intervalos de riego en relación con cantidad de agua aplicada en cada riego. En todos los casos estudiados el intervalo de riego (frecuencia) tuvo mayor influencia sobre los rendimientos que la cantidad de agua. A menor intervalo, mayor rendimiento. La cantidad de agua aplicada en cada riego (de 125 a 500 m<sup>3</sup>/ha) no tuvo mayor efecto sobre el rendimiento.

Es pertinente aclarar que el consumo de agua representa la cantidad mínima de agua necesaria para producir una cosecha e incluye no solo el agua que la planta usa con su proceso fisiológico de transpiración y de formación de tejidos, sino también aquella que se pierde por evaporación de la superficie del suelo cultivado, en otras palabras, la evapotranspiración representa el consumo de agua por la planta.

En el trópico húmedo y sub-húmedo existe una precipitación pluvial relativamente alta, sin embargo, muy a menudo la precipitación en estas zonas no se distribuye uniformemente durante todo el año y ello hace que los períodos de fuerte precipitación se alternen con los períodos secos. Generalmente la duración de estos períodos es variable e impredecible. Por otro lado, las plantas consumen agua de una manera continua, aunque con una intensidad variable, dependiendo de las condiciones del clima. El agua que las plantas consumen procede del suelo, lo cual tiene una capacidad limitada para almacenarla. Si los períodos secos se prolongan demasiado de modo que las plantas agoten la disponibilidad de agua, ésta tiene que ser repuesta y a falta de precipitación, será necesario

recurrir al riego No es pues completamente cierto el concepto que en las zonas de alta precipitación promedio anual el riego no es necesario

En la practica del riego de cualquier cultivo es necesario considerar tres aspectos principales

- a El momento del riego
- b La cantidad de agua que se aplica en cada riego
- c La forma en que se aplica el agua en los campos

a El momento del riego Teoricamente el momento de riego oportuno es aquel en que se presenta un determinado grado de deficit de agua en las plantas, que permita obtener mayor beneficio economico, sin embargo, la dificultad de conseguir un procedimiento simple para determinar el grado de déficit de agua en los tejidos, ha motivado que la decision sobre el momento de riego se base en el contenido de humedad del suelo, requiriendose que aquel sea lo suficientemente alto para que el suelo pueda abastecer de agua a las plantas sin que éstas sufran de un deficit de agua en sus tejidos que afecte su crecimiento y desarrollo

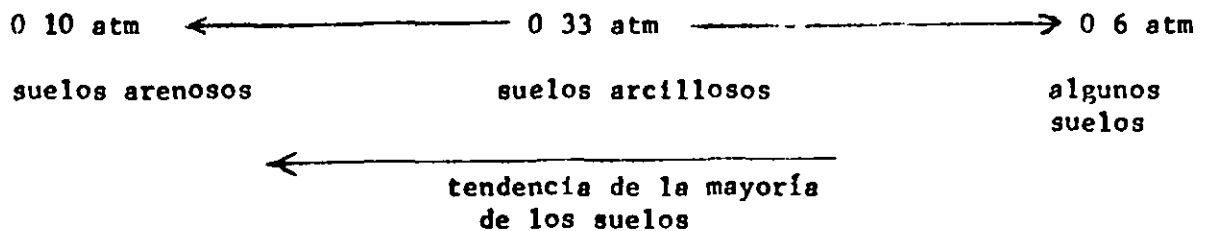
Para el caso del fríjol un momento oportuno de riego estaría entre cuando la humedad del suelo se encuentre entre la capacidad de campo y el 70% de esta

Algunos metodos para determinar el contenido de humedad del suelo son Método de la estufa Tomar una muestra de suelo de la profundidad deseada y ponerla a secar en una estufa a 105°C hasta cuando el peso de la muestra se haga constante El porcentaje de humedad de la muestra será la relación entre el peso de agua perdido por la muestra y el peso de la muestra sera multiplicado por 100 Es el metodo mas exacto pero muy elaborado y caro



**Tensiometros** Estos son aparatos que miden la tension con que el agua es retenida por las partículas del suelo, lo cual indica el grado de disponibilidad de agua en el suelo, constituyendo una medida indirecta del contenido de humedad en el suelo

Los tensiometros estan constituidos por una capsula porosa que se coloca en contacto directo con el suelo, un tubo de agua que transmite la tension del agua en el suelo y un manometro de mercurio que registra dicha tension Este metodo solo puede ser usado cuando la tension de agua en el suelo se encuentra entre 0 y 1 atmosfera Cuando la tension es mayor la columna de agua tiende a romperse y los resultados son erraticos Como la capacidad de campo se encuentra entre 1/10 y 1/3 de atmosfera, este metodo es mas valido para contenidos de humedad cercanos a la capacidad de campo, como puede deducirse del siguiente esquema de variacion



Por otro lado el coeficiente de marchitez permanente varia entre 7 y 40 atmósferas

**Resistencia electrica** Este es el metodo comunmente conocido como Bouyucos

El equipo consiste en 2 electrodos embebidos en unos bloques de yeso, los cuales se colocan en contacto con el suelo. Los cables procedentes de los electrodos se conectan a un puente Wheatstone en donde se registra la resistencia que ofrece el bloque al paso de la corriente eléctrica procedente de una bateria. La resistencia eléctrica es una medida

del contenido de agua del bloque, el cual se halla en equilibrio con el suelo que la rodea. Los bloques deben calibrarse, antes de su uso, para las condiciones locales del suelo que se estudia. Estos bloques permiten la determinación del contenido de agua del suelo desde el coeficiente de marchitez hasta cerca de la saturación.

Metodos practicos de campo Una forma practica de estimar el contenido de humedad del suelo consiste en tomar un puñado del suelo y observar su consistencia y apariencia al presionarlo con la mano. A continuación se da una guía practica para hacer uso de este metodo segun la textura del suelo.

- b La cantidad de agua que se aplica en cada riego. La capacidad de almacenamiento de agua de un suelo en la zona radical efectiva de una planta puede expresarse en la forma siguiente

$$V_r = (CC - HP) \cdot da \cdot pr$$

$V_r$  = Volumen de agua almacenada expresada en m de profundidad

$CC$  = Capacidad de campo del suelo expresada en porcentaje

$HP$  = Contenido de humedad del suelo al momento del riego, expresada en porcentaje

$da$  = densidad aparente del suelo, expresada en  $gr/cm^3$

$pr$  = profundidad efectiva del sistema radical de la planta expresada en m

El volumen de agua almacenada ( $da$ ) multiplicado por el área del campo por regar ( $A$ ) expresado en  $m^2$  da el volumen teorico de agua que debe aplicarse en cada riego. Este volumen dividido por la eficiencia de riego ( $E_{fr}$ ) nos da el volumen de agua neto ( $V$ ) a aplicar en la cabecera de campo, expresado en  $m^3/ha$ . La formula de cantidad de agua a aplicar en cada riego

Consistencia y apariencia del suelo al presionar un puñado entre la mano, según su textura

% de humedad del  
suelo aprovechable  
por las plantas

	Gruesa	Liviana	Media	Pesada y muy pesada
0	Seco, suelto granu- lado se escurre a traves de los dedos	Seco suelto se escurre a traves de los dedos	Pulverulento seco, a veces ligeramente encontrado sierdo facilmente desmenu- desmenuzable	Duro compacto agrietado algunas veces presenta terrones en la superficie
50% o menos	Seco al presionar- lo no forma bolas	Seco al presio- nario no forma bolas	Algo desrenuzable pero se ure al pre- sionario	Algo blando for- mara bolas al pre- sionario
50 hasta 75%	Seco al presionar- lo no forma bolas	Tiende a formar bo- la al presionario pero rara vez man- tiene su forma	Forma una bola algo plastica se resbala al presionarla	Forma una bola y produce una cinta al presionario entre los dedos pulgar e indice
75% has a la capa- cidad de campo	Tiende a pegarse lige- ramente a veces forma una bola debil al pre- sionarla	Forma una bola debil se rompe facilmente no res- bala entre el indice y el pulgar	Forma una bola y es muy ductil resbala facilmente si tiene mucha arcilla	Facilmente forma una cinta entre los dedos produce una sensacion resbalosa
A la capacidad de campo	Al presionarlo el agua libre no se hace apa- rente en el suelo pero queda una huella de la bola en la mano	Forma una bola debil se rompe facilmente no resbala entre el indice y el pulgar	Forma una bola y es muy ductil resbala facilmente si tiene mucha arcilla	Facilmente forma una cinta entre los dedos produce una sensacion resbalosa
Sobre la capacidad de campo	Aparecera agua libre cuando el suelo es golpeado en la mano	Liberara agua al comprimirla en la mano	Liberara agua al comprimirla en la mano	Se enfanga y el agua libre apare- cera en la super- ficie

queda como sigue

$$V = \frac{A}{Efa} \quad (CC - HP) \quad \text{da pr}$$

La eficiencia de aplicacion del agua al reparse el campo (Efa) puede calibrarse mediante la siguiente fórmula

$$Efa = \frac{Vt - (Ap + Ae)}{Vt} = \frac{VE}{Vt}$$

donde

Vt = la cantidad de agua que se entrega al campo

Ap = Cantidad de agua que se pierde por percolacion profunda

Ae = Cantidad de agua que se pierde por escorrentía

V = Cantidad de agua que se almacena en la zona de las raíces

Con un sistema de riego bien diseñado el valor Efa puede estimarse en 0 60

c Forma en que se aplica agua al campo En frijol el método de riego mas comunmente usado es el de surcos

Los surcos generalmente se construyen en el sentido de la inclinacion del terreno, cuando las pendientes no son excesivas de modo a evitar el desbordamiento lateral Cuando las pendientes son muy pronunciadas se emplean surcos de contorno para evitar la erosion del suelo

Para determinar la longitud de los surcos y su espaciamiento es necesario considerar la pendiente del terreno las características físicas del suelo, el caudal de agua disponible y la clase de cultivo

Las pendientes que pueden aplicarse al riego por surco van desde 0 hasta 15%, pero mas eficiente es la de 17