

RELACION DE LAS CONDICIONES ENERGETICAS DEL AGUA EN EL SUELO CON LA TURGENCIA RELATIVA Y LA APERTURA ESTOMATAL

Por Alvaro Gómez Aristizábal y Ramón Fernández González

El momento apropiado para aplicar el riego es un factor decisivo en el uso racional del agua de riego. El presente estudio indica que tanto la apertura estomatal, como la turgencia relativa, reflejan las condiciones de energía de la humedad del suelo, sugiriendo el valor práctico del método para establecer un criterio que fije el momento de regar.

En los cultivos bajo riego, el rendimiento de las cosechas y la eficiencia en el uso del agua dependen de la práctica de riego. Uno de los aspectos más importantes de la práctica de riego es la determinación del momento de regar.

En la actualidad, ninguno de los métodos que se utilizan para determinar dicho momento, es satisfactorio, ya sea por su poca exactitud o su dificultad para emplearlo.

El presente trabajo tiene como objetivos estudiar la relación existente entre las condiciones energéticas del agua en el suelo mediante la medida relativa de la apertura estomatal en las hojas del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. Canario 107) bajo condiciones de invernadero, usando un porómetro de resistencia, y por otra parte estudiar la correlación de la turgencia relativa del tejido foliar con el esfuerzo de humedad del suelo, así como determinar el grado de dependencia entre estas dos variables para el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L. var. Tanverde) bajo condiciones de campo.

Revisión de literatura

Richards y Wadleigh (1952), a través de varias investigaciones, lograron demostrar que la capacidad de absorción de agua por las plantas disminuye antes de que el suelo alcance el porcentaje de marchitamiento permanente, habiendo concluido que el crecimiento vegetativo de la planta es una función del esfuerzo de humedad del suelo. Otros investigadores (Ashton, 1956; Fernández y Laird, 1958; Núñez *et al*, 1959; Guzmán, 1963), encontraron que la producción está relacionada con el máximo esfuerzo al que estuvo sometido el cultivo y la parte del ciclo en el que ocurrió.

Apertura estomatal

Cruz y Fernández (1963), trabajando con maíz, trigo, cebada y frijol bajo condiciones de invernadero, usaron soluciones infiltrantes y encontraron una alta correlación entre la apertura estomatal relativa y el esfuerzo de humedad del suelo. Iljin (1957), trabajando con *Vicia* sp y *Chrysanthemum* sp, encontró que una pérdida de 3.5 por ciento de agua en relación al peso fresco, provocó el cierre de los estomas; en otras especies, dicho porcentaje llegó a 10. En ambos casos el défi-

cit de agua causó daños mecánicos en los estomas. En *Centaurea orientalis* el 3% de ellos mantuvo su capacidad para abrir, 73% cerró y 19% se murió. En otras especies, 45% de los estomas se inactivó.

El método del porómetro es una técnica conveniente para estudiar el comportamiento de los estomas, ya que integra el efecto de un gran número de éstos, los cuales permanecen en observación continua por un intervalo de tiempo. Alvim (1965) diseñó un porómetro similar en apariencia y operación a los tensiómetros utilizados para medir la presión sanguínea en los humanos. Eckardt (1960) señala algunas limitaciones de los porómetros; el microclima debajo de la copa del porómetro a menudo es muy diferente del que prevalece en la atmósfera externa a la planta, lo que podría conducir a errores en la determinación; igualmente comenta la dificultad que se presenta para calibrar el porómetro, ya que este método no da en realidad información sobre la resistencia de los estomas a la difusión. El valor obtenido indica únicamente la resistencia del ostiolo al flujo del aire.

Turgencia relativa

Weatherley (1950), citado por Kramer (1959) y Namken (1965), propuso el término de turgencia relativa (*TR*), definiéndolo como "la cantidad de agua que hay en una porción de tejido vegetal, expresada como porcentaje de la cantidad presente cuando dicho tejido está turgente". Esta última condición se puede tener en los tejidos después de ponerlos a flotar en agua durante cierto período de tiempo.

Namken y Lenom (1960), trabajando con *Zea mays* L., observaron que la técnica de la turgencia relativa se puede usar con éxito en el estudio de las relaciones hídricas internas en varias especies de plantas. Un cambio en la presión de turgencia en la hoja durante un período dado, reflejaba un desequilibrio entre absorción y transpiración durante ese período.

Cornejo y Veardia (1961), trabajando con plantas de girasol (*Helianthus annuus* L. var. Advance) de 4 semanas de edad, encontraron que el crecimiento de las plantas está determinado parcialmente por la turgencia de sus tejidos. Observaron que los síntomas de marchitamiento coinciden con un descenso notable en la turgencia relativa. Agregan que existe la posibilidad de estimar el momento de regar mediante la determinación de la turgencia relativa, ya que su valor es relativamente fácil de obtener.

Slatyer (1961), al interpretar la respuesta de la *Acacia aneura* F. Muell a las condiciones ambientales y especialmente a condiciones de sequía atmosférica y de agua del suelo, encontró que las medidas de la turgencia relativa de los filodios fueron particularmente útiles, ya que dieron un índice simple y sin embargo cuantitativo del déficit hídrico de la planta, que se relacionó directamente con el déficit de la presión de difusión.

Barr y Weatherley (1962) probaron, con la ayuda de diferentes inhibidores metabólicos, que el agua que absorben los tejidos puestos a flotar para determinar su turgencia relativa máxima, se puede dividir en dos fases: la primera corresponde a la absorción rápida de agua debida al déficit hídrico inicial del tejido, y la se-

gunda, o continuación de la absorción debida al crecimiento y metabolismo celular, es lenta, pero puede extenderse por muchas horas. Encontraron también que esta segunda fase podría persistir con una velocidad constante, en discos de hoja de *Ricinus* sp, por 96 horas, tiempo en que el tejido mostraba síntomas visibles de iniciación de su muerte; de ahí que sea necesario eliminar la segunda fase. Recomiendan, en la práctica, hacer flotar los tejidos a temperaturas bajas (3-5°C), lo que permite eliminar la segunda fase, pero reduce la primera.

Namken (1964) estudió los efectos de los factores ambientales tales como: humedad del suelo a diferentes profundidades, temperatura del aire, evaporación, déficit de presión de vapor y movimiento del aire sobre el balance interno en plantas de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) a través de la variación de la turgencia relativa. Encontró una alta correlación simple de estos factores y la turgencia relativa, excepto entre la turgencia relativa y el movimiento del aire. También observó que había una disminución en la correlación de la turgencia y la humedad del suelo a medida que se consideraban profundidades mayores de 30 cm del suelo. El mismo autor encontró que los riegos se podrían establecer de acuerdo a la turgencia relativa de las hojas de la planta, muestreada entre 2:30 - 3:00 pm.

Slatyer y Barrs (1965) encontraron a través de sus experiencias que la turgencia relativa es un índice cuantitativo del déficit hídrico de la planta, excepto en aquellos casos en que las plantas crecen bajo condiciones que originan ligeros déficit de agua, ya que en estas condiciones la turgencia relativa es relativamente constante.

Materiales y métodos

El presente trabajo se efectuó en el campo experimental de la Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, Méx., durante los meses de septiembre a diciembre de 1965 para el frijol, y de agosto a diciembre de 1965, para el cultivo de la alfalfa.

Apertura estomatal

Las observaciones de la apertura estomatal se hicieron en las plantas de frijol bajo condiciones de invernadero, de las 8:30 - 10:00 am diariamente, usando un porómetro que se construyó para este trabajo. La apertura se determinaba en cada planta seleccionando 3 hojas de la misma edad y que estuvieran libres de sombra. En cada hoja se hacían 5 determinaciones en diferentes puntos y los valores que se apartaban mucho de la tendencia general se eliminaban.

La apertura relativa de los estomas se expresó en función del tiempo (seg) que tarda en descender una columna de mercurio, de 200 mm a 100 mm. La apertura estomatal está en función inversa con este tiempo: a mayor tiempo, menor apertura.

La humedad del suelo se hacía mediante pesadas. Los esfuerzos de humedad del suelo se deducían a partir de la curva de esfuerzo de humedad del suelo utilizado, dato previamente obtenido en el laboratorio mediante la olla y membrana de presión.

Turgencia relativa

La recolección de las muestras de tejido foliar, para determinar la turgencia relativa en alfalfa, se hicieron tres veces a la semana, a tres horas del día: 7:00-7:30 am; 2:30-3:00 pm, y 6:00-6:30 pm. Las muestras se tomaban de hojas superiores en desarrollo y consistían en 100 discos de 0.8 cm de diámetro, de cada una de 10 plantas seleccionadas al azar.

Las muestras de suelo se extraían de los sitios donde se hacían los muestreos foliares a las profundidades de 0-15, 15-30, 30-60, 60-90 y 90-120 cm. Los esfuerzos de humedad del suelo se deducían a partir de la curva de esfuerzo de humedad del suelo.

La turgencia relativa de las hojas de alfalfa se determinó con la técnica seguida por los investigadores Slatyer (1961) y Namken (1964, 1965). Se determinaba el peso del tejido fresco con aproximación hasta cuatro cifras decimales. Los discos se ponían a flotar en agua destilada por espacio de 24 horas en un refrigerador con control de temperatura de $4 \pm 1^\circ\text{C}$. Después de este tiempo los discos se removían del agua, se secaban con papel filtro Watman 28 y, poniendo sobre éstos un peso de 500 gramos por espacio de 2 minutos, se pesaban para obtener el peso en estado turgente. Después se llevaban a la estufa a 60°C por espacio de 24 horas para determinar su peso seco. La turgencia relativa se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$\text{TR} = \frac{\text{Peso del agua del tejido en el campo} \times 100}{\text{Peso del agua del tejido a saturación}}$$

También se hicieron observaciones simultáneamente a las de turgencia relativa y de humedad del suelo, de temperatura ambiente, humedad relativa e intensidad de la luz solar.

Se utilizó una computadora electrónica IBM 1620 para hacer los análisis de correlación simple y regresión de los datos respectivos, bajo el asesoramiento del Centro de Estadística y Cálculo.

*Resultados y discusión**Estudio de la apertura estomatal*

Movimiento estomatal. Las plantas de frijol crecieron en el invernadero a diferentes condiciones de esfuerzo de humedad del suelo. La selección de los intervalos de esfuerzo de humedad, para trazar la Figura 1, se hizo observando cuidadosamente los datos clasificados por la computadora electrónica.

Tomando en consideración la continuidad obtenida para los diferentes tratamientos de la humedad del suelo, es decir, que los valores máximos del tratamiento de 0.3 - 3 bars coincide con el valor mínimo de 3.5 - 6.0 bars y finalmente con los de 6.5 - 12 bars, se construyó la Figura 1. En esta gráfica se observa que a medida que el tiempo transcurre y que el esfuerzo de la humedad del suelo se va incrementando, la apertura estomatal se reduce, es decir, el tiempo necesario para el abatimiento de la columna de mercurio del porómetro va en aumento.

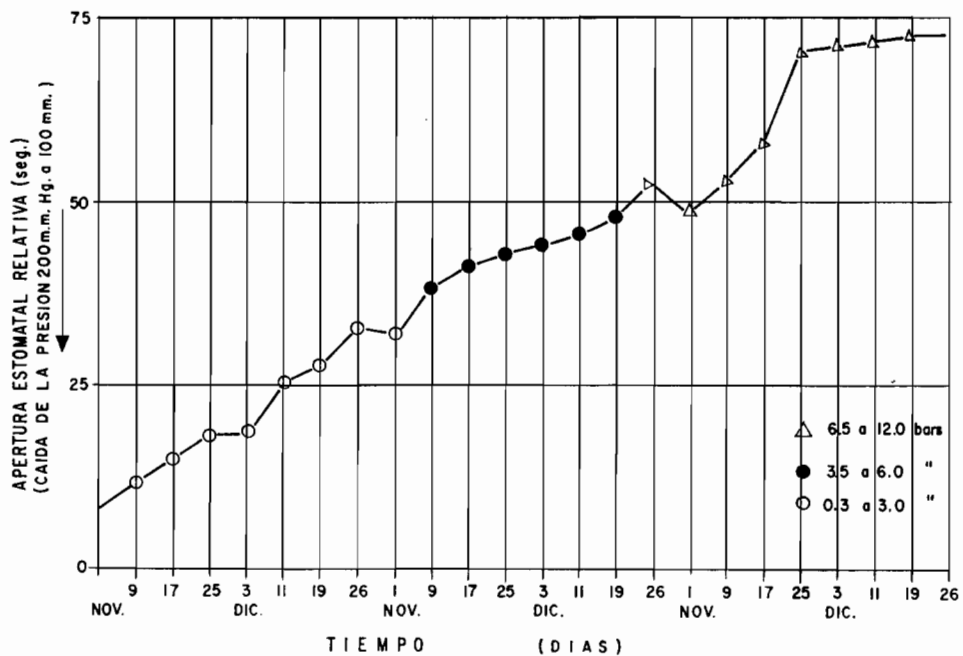


Figura 1. Movimiento estomatal del frijol en función del esfuerzo de humedad del suelo a través del tiempo

Correlación entre la apertura estomatal relativa y el esfuerzo de humedad del suelo. Del análisis de los datos de apertura estomatal se observó que, a mayor esfuerzo de humedad, la apertura estomatal relativa se hacía menor hasta un límite de 8-8.5 bars de esfuerzo, en donde aparentemente los estomas de las plantas se cerraban a una apertura mínima. Hasta este valor de esfuerzo se obtuvo una alta correlación entre la apertura estomatal y el esfuerzo de humedad del suelo, en donde: $r = 0.90$; $R^2 = 0.81$ lo que resultó estadísticamente significativo al 1 por ciento de probabilidad y una regresión lineal simple (Figura 2) altamente significativa ($Y = 1.331 + 0.679 \chi$).

Considerando que el presente trabajo fue realizado bajo condiciones de invernadero y en macetas con una cantidad limitada de suelo, los datos obtenidos sólo indican las posibilidades de este método. Sin embargo, considerando que las observaciones fueron hechas en la mañana después del período normal de recuperación del contenido de humedad en la planta y no reflejando condiciones excesivas de transpiración, los resultados obtenidos indican que el método tiene grandes probabilidades de ser aplicado a condiciones de campo.

Correlación entre la turgencia relativa en alfalfa y el esfuerzo de humedad del suelo. Las medidas de la turgencia relativa son particularmente útiles, ya que no obstante que constituyen un índice simple, representan el déficit hídrico cuantitativo de la planta. Este índice se correlacionó con el esfuerzo de la humedad del suelo a diferentes profundidades, dando valores de asociación negativos, es decir, que mos-

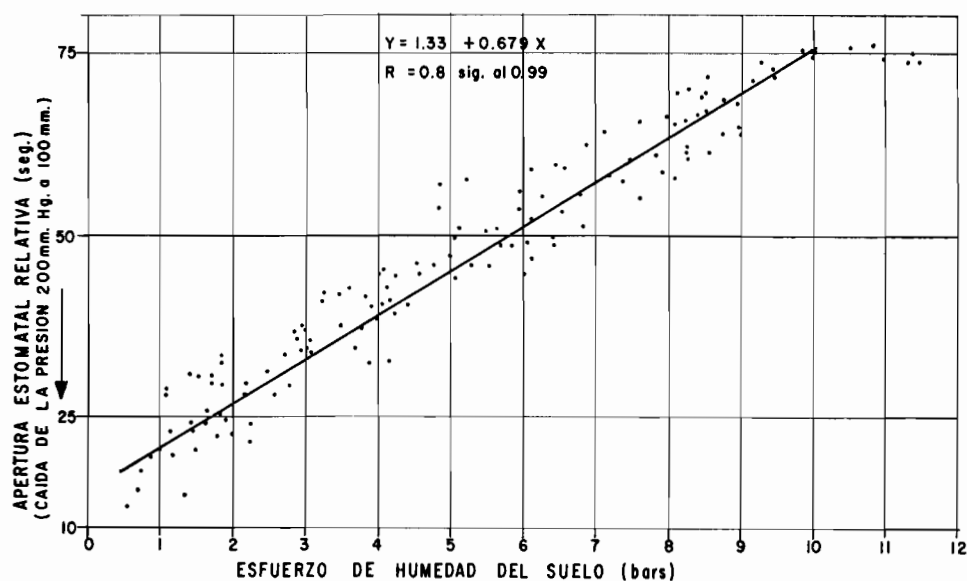


Figura 2. Regresión de la apertura estomatal y el esfuerzo de humedad del suelo en el frijol

traron una dependencia inversamente proporcional. Los mejores coeficientes de correlación simple que se obtuvieron, fueron para las observaciones realizadas en la tarde y entre estas observaciones, para aquéllas que se hicieron cuando las condiciones de temperatura eran de 19-25°C y con luz solar de 3 000-3 500 bujías-pie, como se observa en los cuadros 1, 2 y 3.

El mayor grado de correlación obtenido en el experimento fue para la profundidad de 0-30 cm y para las temperaturas, en la tarde, de 19-25°C y luz de 3000-3500 bujías-pie. En este caso se obtuvo $r = -0.581$ estadísticamente significativo al 1 por ciento de probabilidad (ver Figura 3).

Del análisis de los cuadros 1, 2 y 3 se puede concluir que la hora más propicia para realizar el muestreo foliar y determinar la turgencia relativa como índice del estado hídrico de la planta, es la tarde (2-3 pm.), tiempo que está de acuerdo con lo encontrado por varios investigadores (Slatyer, 1962; Namken, 1964 y 1965). En la tarde la transpiración alcanza su máximo valor debido a la actividad metabólica de la planta, el incremento de la temperatura, la energía solar recibida y la disminución de la humedad relativa.

La absorción, por otra parte, depende del esfuerzo de humedad del suelo directamente, así como de la velocidad del movimiento de agua de las partículas de suelo a la zona de absorción. Esta velocidad depende, a su vez, del esfuerzo de humedad del suelo; por lo tanto, en estas condiciones el contenido de humedad de la planta, medido a través de la turgencia relativa, estará indicando las condiciones de esfuerzo de humedad del suelo, que es precisamente lo que indican los coeficientes de correlación obtenidos.

Se calcularon también las correlaciones simples para la turgencia relativa y las variables ambientales, temperatura, luminosidad y humedad relativa. Las dos primeras presentaron coeficientes de asociación negativos y de valor mayor que la tercera, cuyo coeficiente de correlación fue positivo.

Lo anterior indica la dependencia de la turgencia relativa de los factores ambientales, ya que, mientras más intensa fue su influencia en la transpiración, se tuvo

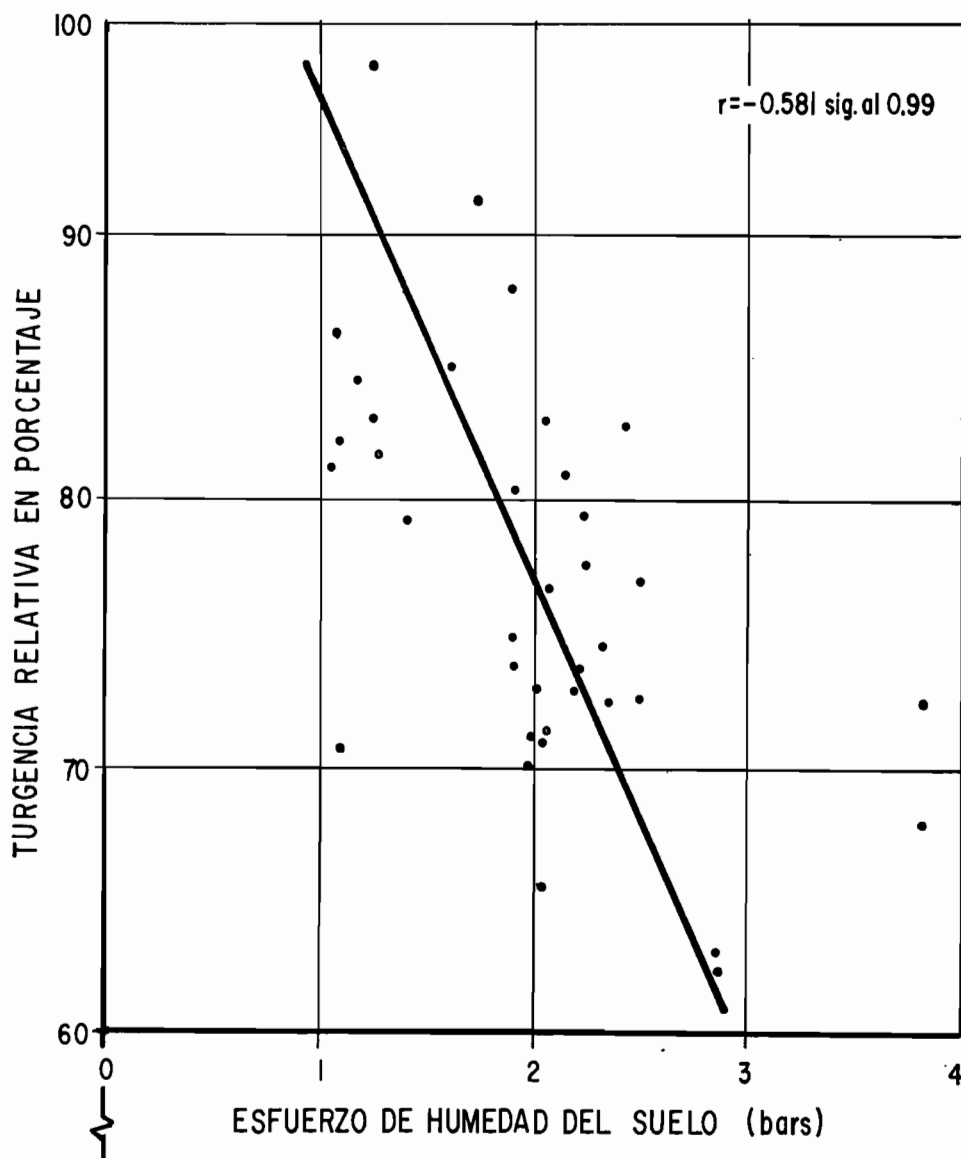


Figura 3. Regresión de la turgencia relativa y el esfuerzo de humedad en el cultivo de alfalfa

mayor posibilidad de que la turgencia relativa fuera un índice de las condiciones hídricas de la planta y se obtuvieron mejores correlaciones con el esfuerzo de humedad del suelo, permitiendo ver la posibilidad de utilizar este método como criterio para determinar el momento de aplicar el riego.

A través de los cuadros 1, 2 y 3 puede apreciarse que cuando se trata de correlacionar el esfuerzo de humedad del suelo a diferentes profundidades con la turgencia relativa, se observa que el grado de dependencia se reduce al incrementar la profundidad del suelo considerado. Esto puede explicarse considerando que no todas las profundidades del suelo se encuentran ocupadas por la misma proporción de raíces absorbentes y, por lo tanto, cada profundidad afectará en forma diferente el contenido de humedad de la planta. Esto podría comprobarse determinando el porcentaje de raíces para cada profundidad, y así obtener un promedio ponderado del esfuerzo de humedad del suelo.

Como se puede advertir, este método en ninguna forma puede considerarse de gran aproximación para estimar el esfuerzo de humedad del suelo; sin embargo, considerando las necesidades en la práctica sí indica que existe una alta probabilidad de poder distinguir entre valores de esfuerzo de humedad del suelo diferentes en 2 bars. Desafortunadamente, como ya se mencionó, este experimento se llevó a cabo con variaciones de esfuerzo de humedad del suelo muy pequeñas, que en ninguna forma reflejaban los límites de esfuerzo de humedad del suelo que normalmente se tienen entre la aplicación de dos riegos subsecuentes. Sin embargo, en la práctica las variaciones entre un riego y otro pueden ser del orden de 10 bars, las que sin duda alguna podrán ser detectadas fácilmente.

Conclusiones

Tanto la apertura estomatal relativa, como la turgencia relativa, reflejan las condiciones de energía de la humedad del suelo y pueden usarse en la determinación del momento de regar.

La apertura estomatal debe medirse con un porómetro de resistencia y las lecturas se llevarán a cabo entre las 8:30 a.m. y 10:00 a.m.

La turgencia relativa debe medirse entre las dos y tres de la tarde y cuando la temperatura sea de 19-25°C y la intensidad de la luz de 3000-3500 bujías-pie.

Cualquier cambio en las condiciones utilizadas en este trabajo debe ser motivo de consideración en la interpretación de los resultados.

Referencias citadas

- ALVIM, P. T. (1965.) *A new type of porometer for measure stomatal opening, and its use in irrigation studies. Methodology of plant eco-physiology.* Proceedings of the Montpellier Symposium. Unesco, París, Francia. 25:325-329.
- ASHTON, E. (1956.) *Effects of a series of cycles of alternating low and high soil water contents on the rate of apparent photosynthesis in sugar cane.* Plant Physiol. 31:266-274.
- BARRS, H. D. and WEATHERLEY, P. E. (1962.) *A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves.* Aust. J. Biol. Sci. 15:413-428.
- CORNEJO, A. y VAADIA, Y. (1961.) *Estudio preliminar de los métodos para determinar la condición del agua en las hojas de las plantas y su relación con la condición del agua en el suelo.* Memorándum Técnico 170. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México.

CUADRO 1

Correlaciones simples entre los factores estudiados y la turgencia relativa de la alfalfa, para todas las observaciones realizadas

FACTOR	UNIDADES	r
EHS (0— 30 cm).....	bars	-0.186**
EHS (0— 60 cm).....	bars	-0.164**
EHS (0— 90 cm).....	bars	-0.166**
EHS (0—120 cm).....	bars	-0.184**
Temperatura ambiente (hora del muestreo).....	°C	-0.651**
Humedad relativa (hora del muestreo).....	%	0.196**
Intensidad de la luz (hora del muestreo).....	bujías-pie	-0.520**

** Significativo estadísticamente al nivel de 1 por ciento de probabilidad

CUADRO 2

Correlación simple entre la turgencia relativa y el esfuerzo de la humedad del suelo para las observaciones de la mañana, tarde y noche

FACTOR	COEFICIENTES DE CORRELACION		
	Mañana	Tarde	Noche
EHS (0— 30 cm).....	-0.169	-0.364**	-0.176
EHS (0— 60 cm).....	-0.154	-0.214**	-0.139
EHS (0— 90 cm).....	-0.125	-0.231**	-0.208*
EHS (0—120 cm).....	-0.202	-0.243**	-0.193*

* Significativo al 5 por ciento de probabilidad

** Significativo al 1 por ciento de probabilidad

CUADRO 3

Correlaciones simples para la turgencia relativa en alfalfa y el esfuerzo de humedad del suelo para las observaciones de la tarde clasificadas por intervalos de temperatura (°C) e intensidad de la luz (bujías-pie)

FACTOR	T (18 - 28) L(3000 - 3500)	T (19 - 25) L(2500 - 3500)	T (19 - 25) L(3000 - 3500)	T (19-25) L(3500)	T (20 - 24) L(3500)
EHS (— 30 cm).....	-0.485**	-0.466**	-0.581**	-0.445*	-0.361*
EHS (0— 60 cm).....	-0.257	-0.216	-0.311*	-0.166	-0.121
EHS (0— 90 cm).....	-0.293*	-0.231	-0.354*	-0.208	-0.173
EHS (0—120 cm).....	-0.299*	-0.249	-0.348*	-0.206	-0.185

* Significativo al 5 por ciento de probabilidad

** Significativo al 1 por ciento de probabilidad

- CRUZ, P. D. (1963.) *Relación entre apertura estomatal relativa y esfuerzo de humedad del suelo*. Tesis de Maestría. Colegio de Post-Graduados, Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- ECKARDT, F. E. (1960.) *Methods of research on water relations, plant water relationships in arid and semi-arid conditions*. Unesco, París, Francia, 15:139-171.
- FERNÁNDEZ, G. R. y LAIRD, R. J. (1958.) *Efectos de la humedad del suelo y de la fertilización con nitrógeno sobre el rendimiento y la calidad del trigo*. Folleto Técnico 27. OEE, SAG. México.
- GUZMÁN, H. A. (1963.) *Influencia del esfuerzo de humedad del suelo en el efecto del NPK y frita (elementos menores) sobre la producción y composición mineral de trigo y frijol*. Tesis de Maestría. Colegio de Post-Graduados, Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.
- ILJIN, W. S. (1957.) *Drought resistance in plants and physiological processes*. Ann. Rev. Plant. Physiol. 8:275-274.
- KRAMER, P. J. (1959.) *Transpiration and the water economy of plants*. Plant Physiology. F. C. Steward, Editor. Academic Press. New York, U. S. A. 2:607-730.
- NAMKEN, L. H. and LEMON, E. R. (1960.) *Field studies of internal moisture relations of the corn plant*. Agron. J. 52:643-646.
- (1964.) *The influence of crop environment on the internal water balance of cotton*. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28:12-15.
- (1965.) *Relative turgidity technique for scheduling. Cotton irrigation*. Agron. J. 57:38-41.
- RICHARDS, L. A. and WADLEIGH, C. H. (1952.) *Soil physical conditions and plant growth*. B. T. Shaw, Editor. Academic Press New York, U. S. A. pp. 73-251.
- SLATYER, R. O. (1961.) *Internal water balance of Acacia aneura F. Muell in relation to environmental conditions. Plant-water relationships in arid and semi-arid conditions*. Proceeding of the Madrid Symposium, Unesco, París, Francia. 16:15-26.
- and BARRS, H. D. (1965.) *Modifications to the relative turgidity technique with notes on its significance as an index of internal water status of leaves. Methodology of plant ecophysiology*. Proceedings of the Montpellier Symposium. Unesco, París, Francia. 25:331-342.