

RESPUESTA DEL CULTIVO DE SANDÍA (*Citrullus vulgaris* Schrad) AL POTENCIAL DEL AGUA EN EL SUELO

WATERMELON (*Citrullus vulgaris* Schrad) RESPONSE TO SOIL WATER POTENTIAL

José Manuel Salaya Domínguez¹, Eugenio Carrillo Avila^{1*}, Oscar Luis Palacios Velez², Lorenzo Armando Aceves Navarro² y José Francisco Juárez López¹

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina s/n. CP 86500, H. Cárdenas Tabasco. Tel 01(937) 372-2386 Fax 01(937) 372-2297, Correo electrónico: ceugenio@colpos.colpos.mx ²Colegio de Postgraduados, Programa de Hidrociencias, Instituto de Recursos Naturales. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. CP 56230, Montecillo Estado de México. Tel 01(595) 952-0242.

*Autor responsable

RESUMEN

Se estudió el efecto de los niveles 20, 40 y 60 centibares (cb) de potencial hídrico del agua en el suelo (ψ) al momento del riego, en tres etapas fenológicas: vegetativa (V), floración (FL) y fructificación (FR), sobre el rendimiento del cultivo de sandía (*Citrullus vulgaris* Schrad) en la Chontalpa, Tabasco, durante el ciclo primavera verano de 1998. El experimento se estableció en campo empleando un diseño experimental San Cristóbal, alojado en un diseño de bloques completos al azar. Se evaluó diámetro de fruto, longitud de fruto, peso de fruto, número de frutos (NF) y rendimiento (R) en los diferentes tratamientos. Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en las variables NF y R, y se evidenció que el valor de ψ al momento del riego tiene un efecto preponderante sobre dichas variables. Durante la etapa FL el cultivo fue más sensible al déficit hídrico, y el valor de ψ durante esta etapa es importante en la formación de frutos. El modelo de regresión que relaciona a R con los valores de ψ al momento del riego en las etapas V, FL y FR, predice un R máximo absoluto para el rango de exploración estudiado para ψ ; además el modelo indica que durante las etapas V, FL y FR, los riegos deberán aplicarse al cultivo cuando ψ se encuentre a 40.7, 33.8 y 41.2 cb, respectivamente, para obtener el máximo rendimiento en el cultivo.

Palabras clave: *Citrullus vulgaris* Schrad, riego, etapas fenológicas, rendimiento.

SUMMARY

The effect of 20, 40 and 60 centibars (cb) of soil water potential (ψ) at irrigation moment, in three phenologic stages: vegetative (V), flowering (FL) and fruiting (FR) over the yield of watermelon (*Citrullus vulgaris* Schrad) was studied in Chontalpa, Tabasco, during the spring Summer cycle of 1998. The research was established in an experimental field using the San Cristóbal experimental design, nested in a completely blocks randomized design. The characters evaluated were: Fruit diameter, length and weight, number of fruits (NF) and yield (R), in the different treatments. There were statistical significant differences among treatments for the variables NF and R, and it was shown that ψ at irrigation had a notorious effect on these variables. These results indicate that during the FL stage this crop is more sensitive to soil water deficit, and that the ψ during this stage is important in defining the magnitude of NF and R. A regression model was determined to relate R with ψ at irrigation, in stages V, FL and FR, which predicts an absolute maximum value within the exploration range studied for ψ . According to the model, during stages V,

FL and FR, the crop should be irrigated when ψ reaches values of 40.7, 33.8, and 41.2 cb, in order to obtain maximum fruit yield.

Index words: *Citrullus vulgaris* Schrad, irrigation, phenologic stages, crop yield.

INTRODUCCIÓN

La sandía (*Citrullus vulgaris* Schrad) es la hortaliza de mayor importancia en el Estado de Tabasco, donde se cultiva en los municipios de Balancán, Emiliano Zapata, Tenosique, Cárdenas y Huimanguillo. De 1987 a 1990 se cultivó un promedio anual de 2 537 ha, con un volumen de producción de 20 000 t y un rendimiento medio comercial de 8039 kg ha⁻¹ (García y Mirafuentes, 1993). Para el ciclo agrícola 1995-1996, el INEGI (1997) reportó a nivel estatal una superficie sembrada de 2 579 ha, de las cuales se cosecharon 2 546 ha con un volumen de producción de 41 390 toneladas. El cultivo comercial de sandía es una actividad relativamente nueva en Tabasco, ya que tiene apenas una antigüedad de alrededor de 30 años (Gobierno del Estado de Tabasco, 1988). Valadez (1996) indica que los rendimientos de sandía en las zonas húmedas son demasiado bajos, comparados con los rendimientos de las zonas con climas cálidos y secos.

La siembra de la sandía en Tabasco se realiza principalmente durante los meses de noviembre, diciembre y enero, para aprovechar la humedad residual del fin de la época de lluvias (de junio a octubre), así como el desarrollo del cultivo durante la época de secas (de febrero a mayo), lo que incrementa el porcentaje de azúcares en el fruto y disminuye el riesgo de pérdidas por excesos de humedad. Sin embargo, debido a la distribución errática de la lluvia, durante la época de secas el cultivo de la sandía está sujeto a deficiencias de humedad en el suelo que abaten los rendimientos. Investigaciones recientes han demostrado que mediante la aplicación de riego en las áreas de mediana productividad, es posible elevar la producción. La

aplicación del riego puede llevarse a cabo en forma continua o mediante riegos de auxilio (Mishra *et al.*, citado por López, 1996).

La presente investigación se realizó con la finalidad de estudiar el efecto de diferentes niveles de potencial hídrico en el suelo al momento del riego sobre el rendimiento del cultivo de sandía, y así determinar el momento al que deben aplicarse los riegos durante la época de secas, en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Efecto de la sequía en las plantas

Uno de los factores ambientales más importantes que afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas es la deficiencia de agua. Durante las diferentes etapas fenológicas de las plantas se presentan grandes diferencias en sus requerimientos de agua; en consecuencia se presentan etapas en las que las plantas muestran mayor sensibilidad a la sequía (Wilsie, 1966). El efecto del déficit hídrico impuesto en una etapa del desarrollo no es independiente de la actividad de la planta en otras etapas; por esto se considera que el rendimiento biológico de los cultivos es la suma de los efectos del déficit hídrico sobre los diferentes órganos de la planta y diferentes etapas de desarrollo, reflejados en los componentes del rendimiento (Caicedo, 1990).

Efectos del déficit hídrico en la fase vegetativa. En esta etapa el déficit hídrico afecta directamente el tamaño de la fuente fotosintética laminar, como resultado de la reducción de la turgencia celular, del alargamiento celular y de la formación de hojas nuevas, lo cual redundará en una menor área foliar, altura de la planta y materia seca total (Clarke y Durley, 1981).

Efecto del déficit hídrico en la floración. Begg y Turner (1976) señalan que los cultivos son muy sensibles al déficit hídrico en las etapas de iniciación floral y de floración. En estas etapas, además de los efectos en la asimilación de CO₂ pueden ocurrir fallas en la polinización y, por ende, disminución en el número de frutos (Caicedo, 1990). Cuando el déficit hídrico ocurre durante la polinización, momento en el cual se define el número real de granos o frutos, el número de ellos que llegan a maduración puede ser abatido sustancialmente (Quezada, 1986). En general, se puede considerar que en cultivos que se siembran para producir frutos o semillas, la floración es la etapa más sensible a la deficiencia de humedad, como consecuencia de la reducción al mínimo en la actividad de los procesos fisiológicos de la planta.

Efecto del déficit hídrico en la etapa de llenado de grano o formación de los frutos. Según Clarke y Durley (1981), el déficit hídrico en esta etapa acelera la senescencia foliar y la maduración de las plantas, que sumado a una menor tasa de acumulación de materia seca, dan como resultado un menor peso de semilla y menor rendimiento en grano.

Algunas experiencias sobre el cultivo de sandía bajo riego

El rendimiento obtenido en el cultivo de sandía en México es muy variable; los estados con producciones más bajas durante 1985 fueron Veracruz, Tamaulipas, Baja California Norte y Tabasco con 10.5, 10.8, 11.7 y 11.9 t ha⁻¹, respectivamente; los de mayor producción fueron Durango y Coahuila con 25.1 y 29.4 t ha⁻¹, respectivamente (Valadez, 1996). La mayor productividad de los estados del norte, cuyo clima es cálido y seco, se atribuye a que el cultivo se mantiene bajo riego durante gran parte de su ciclo y con mejor tecnología que en el sur del país, cuya producción depende de la temporada de lluvias.

En el Estado de Tabasco, Hinojosa (1983) reporta rendimientos de sandía entre 1.91 y 8.33 t ha⁻¹ para la zona de la Chontalpa, en un trabajo en el que se aplicaron riegos de auxilio en seis diferentes variedades; los mejores resultados se encontraron con la variedad Jubilee. Sin embargo, en los últimos años en Tabasco se ha cultivado sandía con alta tecnología, en los municipios de Emiliano Zapata y Tenosique, para producir sandía para exportación. En este caso, la aplicación de fertilizantes y riegos de auxilio en el cultivo con el uso de sistemas presurizados ha permitido a los productores obtener rendimientos de 40 t ha⁻¹, e incluso mayores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del sitio experimental y clima. La investigación se realizó en el Campo Experimental "El Trapecio" del Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados, en un suelo Fluvisol de la serie libertad. El sitio se localiza entre los 18° 01' de LN y los 93° 03' de LO, a una altitud de 10 m. El clima dominante, según la clasificación de Köppen modificado por García, es del tipo Am (f) w" (i') g (Nájera *et al.* 1998); esto es, cálido húmedo tropical con lluvias abundantes en verano. La precipitación pluvial y la evaporación media anual oscilan alrededor de 2240 y 1400 mm, respectivamente. La precipitación tiene una distribución temporal bastante irregular, lo que da origen a tres épocas con características pluviométricas diferentes, conocidas como: a) época de lluvias, de junio a octubre, con magnitud e intensidad de la precipitación pluvial muy elevadas;

b) época de “nortes”, de noviembre a enero, caracterizada por lluvias del tipo ciclónico; y c) época de relativa sequía, de febrero a mayo. El experimento se estableció en el lote denominado D5, que forma parte del módulo de drenaje subterráneo del Campus Tabasco (Palacios *et al.*, 1993).

Diseño experimental y tratamientos. Las etapas vegetativa (V), de floración (FL) y de fructificación (FR) fueron consideradas como tres factores independientes, durante cada una de las cuales se probaron tres niveles de potencial del agua en el suelo (ψ) al momento del riego: 20, 40 y 60 centibares, de manera similar al trabajo desarrollado para el arroz por Magaña *et al.* (1991). En el centro de cada unidad experimental se colocó un tensiómetro a 30 cm de profundidad para medir el valor del potencial (ψ), y se aplicó riego cuando el tensiómetro indicó el nivel de ψ del tratamiento correspondiente. Se utilizó el diseño experimental San Cristóbal para tres factores con tres niveles, con los 9 tratamientos mostrados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos del Diseño San Cristóbal para tres factores en tres niveles. En el cuadro se muestran los niveles de potencial hídrico del suelo empleados al momento del riego en las tres etapas fenológicas (vegetativa, V; floración, FL; y fructificación, FR) en el cultivo de sandía var. Jubilee, establecido en la Chontalpa, Tabasco, 1998.

Tratamientos	Potencial hídrico ψ (cb)		
	ψ V	ψ FL	ψ FR
T1	20	20	20
T2	60	20	20
T3	20	60	20
T4	60	60	20
T5	20	20	60
T6	60	20	60
T7	20	60	60
T8	60	60	60
T9	40	40	40

Los tratamientos fueron establecidos y analizados en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada unidad experimental estuvo constituida de tres camas de 20 m de largo por 1.8 m de ancho, y las mediciones de las variables de respuesta del cultivo se realizaron en las cinco plantas centrales.

Establecimiento del cultivo. La siembra se realizó en húmedo, el 25 de marzo de 1998 con la variedad Jubilee. La cosecha de las parcelas experimentales se realizó el 13 de julio del mismo año.

Mediciones realizadas. Durante la etapa de fructificación del cultivo se cuantificaron los caracteres de respuesta: número de frutos (NF), diámetro del fruto (DF), longitud del fruto (LF) y peso del fruto (PF), con los cuales se calculó el rendimiento de fruto por hectárea (R); además, se dispuso de datos de precipitación pluvial registrada a nivel diario, se midieron los valores diarios del potencial del agua en el suelo a 30 cm de profundidad en el centro

de cada unidad experimental, se determinó la densidad aparente del perfil, y se hicieron muestreos de suelo cada tercer día para estimar el contenido volumétrico de humedad a la profundidad de medición del potencial.

Lámina de riego (Lr). La lámina de riego fue calculada para cada tratamiento con la expresión siguiente:

$$Lr = (\theta_s - \theta_t)Pr$$

donde: Lr = Lámina de riego (cm); θ_s = Contenido volumétrico de humedad del suelo a saturación ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_t = Contenido volumétrico de humedad del suelo correspondiente a cada nivel de ψ ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Pr = Profundidad del perfil a humedecer con el riego (cm).

El contenido volumétrico de humedad del suelo a saturación se obtuvo a partir de la densidad aparente del perfil determinada en laboratorio, y el correspondiente a cada nivel del potencial del agua en el suelo (ψ) fue determinado mediante el uso de las curvas características de retención de humedad en el perfil; finalmente, la profundidad a humedecer fue considerada igual a 40 cm, en todos los casos.

Análisis estadístico. Para probar las posibles diferencias entre tratamientos se realizó un análisis de varianza empleando el modelo de bloques completos al azar para las variables de respuesta: NF, DF, LF, PF y R (t ha^{-1}); también se realizó la prueba de comparación múltiple de medias propuesta por Tukey, con $\alpha = 0.10$. Además se realizó un análisis de regresión para relacionar al rendimiento obtenido en cada tratamiento con los niveles de potencial del agua en el suelo (ψ) al momento de la aplicación del riego, durante las tres etapas fenológicas evaluadas, para lo que se probaron los efectos lineales y cuadráticos del potencial al momento del riego durante las etapas vegetativa, de floración y de fructificación (ψ V, ψ FL y ψ FR, respectivamente), así como las interacciones dobles. Los valores de los parámetros de regresión fueron determinados mediante el empleo del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System). También se determinaron los valores particulares del potencial para las etapas V, FL y FR que hacen nulas las derivadas parciales del modelo respecto de ψ V, ψ FL y ψ FR, con el objetivo de determinar la presencia de un valor óptimo en rendimiento; finalmente se determinó si dicho valor correspondió a un máximo, un mínimo o un “punto de silla” (punto para el cual son nulas las derivadas parciales de la función pero sin presentar valores máximos o mínimos).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de riegos por tratamiento. En el Cuadro 2 se muestra el número de riegos que se dieron en cada etapa fenológica para cada tratamiento. Se incluyen los valores del potencial hídrico empleados para definir el momento del riego en cada tratamiento, con la finalidad de ilustrar la relación existente entre esta variable y el número de riegos aplicados. El promedio se obtuvo considerando los riegos aplicados en los tres bloques.

Cuadro 2. Número de riegos que se aplicaron por etapa y por tratamiento en el cultivo de sandía var. Jubilee, establecido en la Chontalpa, Tabasco; 1998.

Tratamientos (cb)	Etapas fenológicas			Total
	V	FL	FR	
T1 (20, 20, 20)	3.33	8.33	3.67	15.33
T2 (60, 20, 20)	0.67	9.33	2.67	12.67
T3 (20, 60, 20)	3.00	5.00	2.67	10.67
T4 (60, 60, 20)	0.33	4.33	2.67	7.33
T5 (20, 20, 60)	3.33	8.67	1.33	13.33
T6 (60, 20, 60)	0.00	8.00	2.00	10.00
T7 (20, 60, 60)	2.67	3.67	2.00	8.33
T8 (60, 60, 60)	0.33	4.33	2.00	6.66
T9 (40, 40, 40)	1.00	4.67	2.33	8.00
Promedio total	14.67	56.33	21.33	92.33
Número de riegos por etapa	1.63	6.26	2.37	

Notas: cb = centibares; V, vegetativa; FL, floración; FR, fructificación.

Evolución temporal del potencial hídrico del suelo observado como respuesta a los aportes de agua. En la Figura 1 se ilustra el comportamiento temporal del potencial hídrico del suelo medido a 30 cm de profundidad, como respuesta a los aportes de agua por riego y precipitación pluvial en el tratamiento T3 (20, 60, 20 cb) del bloque dos. En la Figura 1(A) se ilustra el aporte de agua mediante riego y lluvia; los riegos fueron aplicados cuando el valor del potencial alcanzó el valor correspondiente al tratamiento bajo estudio en las etapas fenológicas vegetativa (V), de floración (FL) y de fructificación (FR); esto se ilustra en la Figura 1(B) con el uso de una línea horizontal que indica el valor del potencial correspondiente al tratamiento aplicado. En la Figura 1(B) se observa que después de un aporte de agua en la superficie, el valor del potencial disminuye; también se aprecia claramente cómo se utilizó al valor del potencial del agua en el suelo en cada etapa para definir el momento del riego. Cabe señalar que la etapa de floración coincidió con el mes más seco (mayo), y que durante esta etapa el valor del potencial hídrico aumentó drásticamente de un día al siguiente, lo que originó que en el caso ilustrado en la Figura 1(B), los riegos se realizaron a valores un poco superiores del nivel de potencial de presión estudiado.

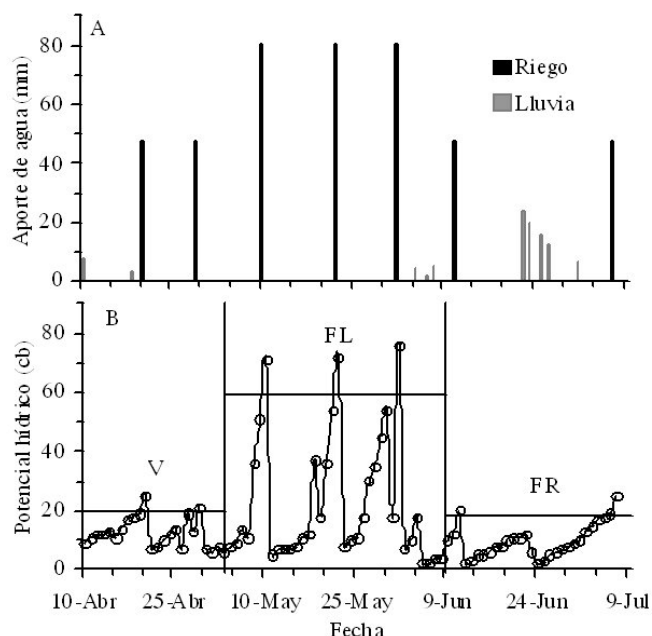


Figura 1. A. Aporte de agua en la superficie en el cultivo de sandía var. Jubilee, establecido en la Chontalpa, Tabasco, 1998; Bloque dos, tratamiento T3 (20, 60, 20 cb). B. Evolución temporal del potencial de presión a 30 cm de profundidad, como respuesta al aporte de agua en la superficie, durante las etapas vegetativa, de floración y de fructificación (V, FL y FR, respectivamente).

Valores de las variables del cultivo evaluadas en cada tratamiento. En el Cuadro 3 se muestran los valores de las variables evaluadas en el cultivo para cada tratamiento. Como resultado del análisis de varianza de las variables evaluadas, sólo se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en las variables número de frutos y rendimiento de fruto. Cabe señalar que en las variables diámetro de frutos, longitud de frutos y peso de frutos se encontraron valores similares entre tratamientos, con coeficientes de variación aceptables para un experimento de campo.

En el número de frutos se detectaron diferencias marcadas no sólo entre tratamientos sino también dentro de tratamientos, lo que ocasionó una suma de cuadrados del error grande, así como un coeficiente de variación elevado (26.18 %, Cuadro 3). Esto se debe a diferencias entre repeticiones en la respuesta del cultivo a un mismo tratamiento, como consecuencia de la posible heterogeneidad del suelo en el área experimental (no considerada), o por falta de homogeneidad en la aplicación de los tratamientos, a pesar de los cuidados tomados al definir el momento y la magnitud del riego en cada unidad experimental.

Por otra parte, el número de frutos formados está estrechamente relacionado con la formación y amarre de flores, que a su vez dependen de las condiciones hídricas del suelo, principalmente durante la etapa de floración. El

Cuadro 3. Valores promedio por tratamiento de las variables evaluadas en el cultivo de sandía var. Jubilee, establecido en la Chontalpa, Tabasco, 1998.

Tratamientos	Diámetro del fruto (cm)	Longitud del fruto (cm)	Peso del fruto (kg)	Número de frutos	Rendimiento de fruto (t ha ⁻¹)
T1 (20, 20, 20)	15.93 a	29.26 a	3.80 a	24.67 a	26.18 a
T2 (60, 20, 20)	16.06 a	26.93 a	3.27 a	15.67 ab	14.48 ab
T3 (20, 60, 20)	16.10 a	28.33 a	3.72 a	12.67 b	13.14 b
T4 (60, 60, 20)	16.46 a	26.69 a	3.30 a	17.00 ab	15.67 ab
T5 (20, 20, 60)	17.40 a	29.80 a	3.80 a	12.00 b	13.35 b
T6 (60, 20, 60)	16.73 a	29.10 a	3.70 a	20.00 ab	20.67 ab
T7 (20, 60, 60)	16.83 a	27.73 a	3.60 a	18.33 ab	18.46 ab
T8 (60, 60, 60)	15.76 a	27.90 a	3.30 a	15.00 ab	14.03 ab
T9 (40, 40, 40)	16.03 a	27.33 a	3.00 a	16.33 ab	13.82 b
CV (%)	4.89	8.39	12.72	26.18	28.53
DMS	2.07	6.12	1.15	11.44	12.31

Medias con la misma literal son iguales estadísticamente (Tukey, 0.10); CV = Coeficiente de variación (%); DMS = Diferencia mínima significativa.

número promedio de frutos presentó las siguientes tendencias: los dos tratamientos con mayor número de frutos por unidad experimental (T1: 20, 20, 20 y T6: 60, 20, 60, con 24.67 y 20.0, respectivamente) corresponden a aquellos en los que se aplicaron los riegos al menor nivel de potencial hídrico durante la etapa de floración ($\psi_{FL} = 20$ cb); el tratamiento T5, en el que se aplicaron los niveles intermedios del potencial hídrico en las tres etapas de desarrollo (40, 40, 40 cb) fue en el que se encontró un número intermedio de frutos (16.33, y ocupó el quinto sitio de nueve tratamientos, tanto de manera ascendente como descendente). En contraste, los tratamientos T8 y T3 (60, 60, 60 y 20, 60, 20 cb, respectivamente), en los que se aplicó el mayor nivel de potencial hídrico durante la etapa de floración (ψ_{FL}), presentaron dos de los valores más bajos en número de frutos (15.0 y 12.67 respectivamente). En el tratamiento T5 (20, 20, 60 cb), donde se aplicó el nivel más bajo del potencial hídrico del suelo durante la etapa de floración ($\psi_{FL} = 20$ cb), se obtuvo el más bajo número de frutos por unidad experimental (12.0). Estos resultados sugieren que la etapa de floración es la más crítica para la formación de flores y amarre de frutos, e ilustran el efecto de la restricción de humedad en el cultivo durante dicha etapa sobre el número de frutos.

Como consecuencia de la alta variabilidad en el número de frutos (NF) dentro de las unidades experimentales de un mismo tratamiento, el rendimiento de fruto estimado con base en dicho carácter presentó también una suma de cuadrados del error elevada (Cuadro 3), lo que originó un coeficiente de variación grande y una diferencia mínima significativa ligeramente alta (28.53 % y 12.31 t ha⁻¹, respectivamente).

El rendimiento de fruto mostró un comportamiento similar al del número de frutos entre tratamientos; el rendimiento máximo se obtuvo en el tratamiento T1 (20, 20, 20 cb), de 26.18 t ha⁻¹, en el que se estudiaron los niveles más bajos del potencial de presión en las tres etapas de desarrollo del cultivo, seguido por el tratamiento T6 (60, 20, 60

cb) con 20.67 t ha⁻¹ (iguales estadísticamente); en el resto de tratamientos se obtuvieron rendimientos inferiores a 19 t ha⁻¹ donde el T3 (20, 60, 20 cb) obtuvo el menor valor ($P \leq 0.10$) con 13.14 t ha. Esto sugiere nuevamente que la etapa de floración fue la más determinante en la definición del rendimiento del cultivo. Cabe destacar que en el tratamiento T1, en el que se encontró el mayor rendimiento, se aplicó el mayor número de riegos (15 en total) y que en el tratamiento T8 (60, 60, 60 cb), con uno de los menores rendimientos (14.03 t ha⁻¹), se dio el menor número de riegos (7).

Los rendimientos de fruto obtenidos en el presente trabajo superan a los reportados por Hinojosa (1983) para la misma zona de estudio, también con riegos de auxilio al cultivo, quien obtuvo rendimientos de entre 1.91 y 8.33 t ha⁻¹. El máximo rendimiento obtenido en el presente estudio en el tratamiento T1 (20, 20, 20 cb), es similar al rendimiento promedio obtenido en 1985 en los Estados de Durango y Coahuila, de 25.1 y 29.4 t ha⁻¹ respectivamente (Valdez, 1996), pero es inferior a los reportados por Villegas (1970) de 44.1 y 35.0 t ha⁻¹ en las variedades Garrizonian y Peacock, respectivamente, para la Comarca Lagunera. En cuanto a la variación en el rendimiento encontrado en la presente investigación, fue similar a la obtenida por Ibarra y Flores (1997), quienes registraron rendimientos de 13.6 a 28.3 t ha⁻¹ en la variedad Charleston Gray. Cabe destacar que los rendimientos aquí encontrados en todos los tratamientos, superan al rendimiento medio estatal (8.04 t ha⁻¹) reportado por García y Mirafuentes (1993), y se encuentran cerca del promedio reportado por INEGI (1997) para el Estado de Tabasco (16.26 t ha⁻¹).

Modelo de regresión. El modelo de rendimiento determinado por regresión, con base en los rendimientos obtenidos en cada tratamiento, y los valores de potencial del agua en el suelo utilizados para definir el momento del riego en cada etapa de desarrollo del cultivo, fue el siguiente:

$$R = 0.401264 \psi V + 0.3784887 \psi FL + 0.3239762 \psi FR - 0.0043862 \psi V^2 - 0.0043862 \psi FL^2 - 0.004386 \psi FR^2 - 0.00224 \psi V \cdot \psi FL + 0.0007518 \psi V \cdot \psi FR + 0.000213 \psi FL \cdot \psi FR; R^2=0.9275$$

donde: R = Rendimiento ($t\ ha^{-1}$); ψV = Potencial hídrico del suelo al que fue aplicado el riego durante la etapa vegetativa (cb); ψFL = Potencial hídrico del suelo al que fue aplicado el riego durante la etapa de floración (cb); ψFR = Potencial hídrico del suelo al que fue aplicado el riego durante la etapa de fructificación (cb).

De los parámetros de regresión determinados para el modelo, únicamente el correspondiente al efecto lineal de ψV resultó significativo; sin embargo la inclusión del resto de parámetros permite al modelo representar mejor la relación entre el rendimiento y los potenciales ψV , ψFL y ψFR . El modelo que se empleó es con ordenada al origen nula, debido a que el rendimiento esperado para un valor cero de los potenciales ψV , ψFL y ψFR sería también cero, ya que este caso corresponde a un suelo totalmente saturado de agua durante todo el ciclo de cultivo, condición bajo la que no es posible el desarrollo normal de las plantas. El coeficiente de determinación obtenido (0.9275) indica que el rendimiento estimado con el modelo de regresión es bastante aceptable.

Para determinar la presencia de un rendimiento óptimo con el modelo, se derivó parcialmente a R respecto de ψV , ψFL y ψFR , igualando a cero en cada caso; se obtuvo así un sistema de tres ecuaciones lineales con tres incógnitas, cuya solución define el punto para el cual el rendimiento es un valor extremo. Para determinar si el valor extremo corresponde a un máximo, los menores principales de la matriz Hessiana formada por las segundas derivadas parciales y derivadas cruzadas de R respecto de los potenciales, deben alternar en signo iniciando con un valor negativo (Apóstol, 1972).

Para el modelo encontrado, el valor extremo se encuentra en el punto: $\psi V = 40.7$ cb; $\psi FL = 33.8$ cb y $\psi FR = 41.2$ cb, el cual predice un rendimiento de $21.2\ t\ ha^{-1}$ de fruto de sandía. Los menores principales de la matriz Hessiana alternan en signo iniciando con un valor negativo, por lo que el punto corresponde a un valor máximo, que en este caso corresponde a un valor máximo absoluto.

Bajo el supuesto de que el modelo obtenido relaciona aceptablemente el rendimiento del cultivo con los valores del potencial hídrico del suelo utilizados para definir el momento del riego durante las etapas fenológicas vegetativa (ψV), de floración (ψFL) y de fructificación (ψFR), pueden construirse figuras en las que se ilustre la relación

existente entre tales variables. En estas figuras podría verse el rendimiento esperado del cultivo en función de diferentes combinaciones en los valores de los potenciales ψV , ψFL y ψFR al momento de la aplicación del riego en el cultivo.

Dado que construir una figura en cuatro dimensiones no es físicamente posible, en este caso se consideró como constante una de las variables independientes y se expresó al rendimiento como una función de las dos variables independientes restantes, de modo que resulta una figura tridimensional. La Figura 2 muestra la superficie de respuesta del rendimiento del cultivo en función de los potenciales ψV y ψFL , fijando a ψFR igual al valor determinado para el cual el rendimiento es máximo ($\psi FR = 41.2$ cb).

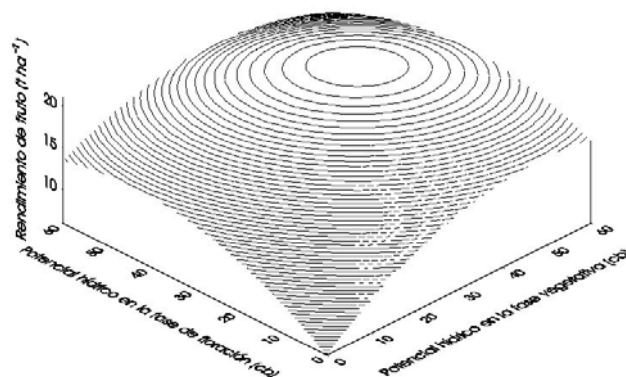


Figura 2. Superficie de respuesta del rendimiento de fruto ($t\ ha^{-1}$) de la sandía var. Jubilee, en función del potencial hídrico del suelo al momento del riego, en las etapas vegetativa y de floración. La Chontalpa, Tabasco, 1998.

En la Figura 2 se hace notorio el incremento en el rendimiento al aumentar el valor de ambos potenciales, hasta llegar al punto óptimo ($\psi V = 40.7$ cb, $\psi FL = 33.8$ cb) correspondiente al rendimiento máximo estimado por el modelo. Si se considera como constante a ψV o a ψFL en el modelo, se obtienen superficies de respuesta similares, debido a que en el modelo los efectos lineales de todos los potenciales son positivos, los efectos cuadráticos son negativos, y el valor extremo es un máximo absoluto. Por supuesto, la superficie de respuesta de la Figura 2 presenta un valor máximo dentro del rango de exploración utilizado para los potenciales hídricos del suelo al momento del riego durante las etapas vegetativa (ψV), de floración (ψFL) y de fructificación (ψFR).

El modelo obtenido confirma nuevamente que la etapa de floración del cultivo es la más sensible a la falta de humedad, etapa en la cual los riegos deberán aplicarse cuando el potencial del agua en el suelo (ψFL) se encuentre a 33.8 cb a 30 cm de profundidad. Para las etapas

vegetativa y de floración el cultivo es un poco menos sensible al déficit hídrico, y los riegos deberán aplicarse cuando el valor del potencial aumente a 40.7 y 41.2 cb, respectivamente, a 30 cm de profundidad, para maximizar el rendimiento de fruto en el cultivo.

CONCLUSIONES

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en el número de frutos y en el rendimiento de fruto, pero no en diámetro de frutos, longitud de frutos y peso de frutos.

El potencial del agua en el suelo en el cual fueron aplicados los riegos durante las etapas de desarrollo del cultivo evaluadas (vegetativa, de floración y de fructificación), tiene un efecto preponderante sobre el número de frutos y el rendimiento del cultivo.

Durante la etapa de floración el cultivo es más sensible al déficit hídrico, etapa en la que ocurre la determinación del número de frutos y del rendimiento final del cultivo.

El modelo de regresión determinado para relacionar al rendimiento del cultivo con los valores del potencial del agua en el suelo al momento del riego durante las fases vegetativa, de floración y de fructificación (ψ_V , ψ_{FL} y ψ_{FR} , respectivamente), predice un rendimiento máximo dentro del rango de exploración estudiado. De acuerdo con ese modelo, durante las etapas vegetativa, de floración y de fructificación, los riegos deberán aplicarse al cultivo cuando el potencial hídrico del suelo a 30 cm de profundidad se encuentre a 40.7, 33.8 y 41.2 cb respectivamente, para obtener el máximo rendimiento de frutos en el cultivo (21.2 t ha^{-1}).

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Nacional del Agua, que a través de la Gerencia de Distritos de Temporal Tecnificado y de la Gerencia Regional Frontera Sur, aportó parte del financiamiento necesario para la realización del presente trabajo, mediante la ejecución del convenio SGOP-GDTT-98-014 establecido con el Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

BIBLIOGRAFÍA

- Apóstol T M (1972)** Análisis Matemático: Introducción Moderna al Cálculo Superior. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España. pp 148.
- Begg J E, N C Turner (1976)** Crop water deficits. Adv. Agronomy 28: 161- 217.
- Caicedo G S (1990)** Efecto de la tensión hídrica en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y en la simbiosis con *Rhizobium leguminosarum* B. V. *Phaseoli* en tres etapas fenológicas así como en el rendimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 153 p.
- Clarke J M, R C Durley (1981)** The responses of plant to drought stress. In: Water Stress on Plants. G. M. Simson (comp). Praeger Publishers. New York. pp: 89-139.
- García P F, F Mirafuentes H (1993)** Manual de Producción de Sandía de Humedad Residual en el Estado de Tabasco. INIFAP-SARH, Tabasco. 16 p.
- Gobierno del Estado de Tabasco (1988)** Guía Práctica del Productor del Campo Tabasqueño. Secretaria de Desarrollo. Gobierno del Estado de Tabasco.
- Hinojosa S R (1983)** Experiencias obtenidas en el ensayo de rendimiento de seis variedades de sandía (*Citrullus vulgaris*) en la Zona de la Chontalpa Tabasco. Tesis Profesional. Colegio Superior de Agricultura Tropical, H. Cárdenas, Tabasco. 60 p.
- Ibarra J L, J Flores V (1997)** Acolchado plástico, cubiertas flotantes y desarrollo y rendimiento de sandía y calabacita. Agrociencia 31: 9-14.
- INEGI (1997)** Anuario Estadístico del Estado de Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco. Villahermosa, Tabasco. 454 p.
- López L R (1996)** Balance hídrico en arroz (*Oriza sativa* L.) con riegos de auxilio en un vertisol de Tabasco. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 100 p.
- Magaña S G, P Pacheco H, L Rendón P (1991)** Respuesta del arroz (*Oriza sativa* L.) al potencial de presión del agua en el suelo, en tres etapas fenológicas. Agrociencia, Serie Agua-Suelo-Clima 2 (4): 121-137.
- Nájera H F, O L Palacios V, I Nikolskii G (1998)** Evaluación económica de un módulo de drenaje subsuperficial en siembras de caña de azúcar y chile jalapeño en el trópico húmedo. Agrociencia 32 (3): 209-215.
- Palacios V O, I Nikolski G, J Melo A (1993)** Construcción de un módulo de drenaje subterráneo controlado en 60 ha del Campo Experimental "El Trapecio", CEICADES, Cárdenas, Tabasco. Memoria Técnica. H. Cárdenas Tabasco. 59 p.
- Quezada A H (1986)** Efecto de la sequía en diferentes estadíos de crecimiento en maíz H-28. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 78 p.
- Valadez L A (1996)** Producción de Hortalizas. Ed. LIMUSA, México.
- Villegas B M (1970)** Fecha de siembra y su influencia en el rendimiento y calidad de la sandía en la Comarca Lagunera. PanaGra (15): 16-20.
- Wilsie C P (1966)** Cultivos. Aclimatación y Distribución. Trad. M. Serrano G. Ed. Acirbia. Zaragoza, España.