

Curva Presión Volumen de la caña de azúcar variedad CC 8592 en condiciones del Valle del Cauca

J. A. Polanía,¹ S. Mejía de T.² y L. Rodríguez A.²

COMPENDIO

Se realizó un experimento en las casas de malla (31° C y 50% de HR) entre febrero y octubre de 2002, para evaluar la curva P-V de la caña de azúcar variedad CC 8592 con el fin de caracterizar fisiológicamente la tolerancia al estrés hídrico y de estimar diversos parámetros del comportamiento de la variedad en diferentes niveles de humedad. Se utilizó un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones; las plantas se sembraron en materos plásticos (3 kg) utilizando un sustrato de cachaza - carbonilla (3:1). El módulo volumétrico de elasticidad de la pared celular está entre 0.56 y 0.77 MPa, la relación peso turgente peso seco entre 3.27 y 3.49. La variedad se comportó igual en condiciones normales de déficit o exceso de agua, debido a características como la alta elasticidad de la pared celular y adecuado ajuste osmótico, lo que indica que es eficiente en el uso del agua.

Palabras claves: curva presión volumen, potencial hídrico, módulo volumétrico de elasticidad de la pared celular, estrés hídrico.

ABSTRACT

A trial where conducted in greenhouse (31° c and 50% of HR), between February and October of 2002 to evaluate the P-V curve of the sugar cane variety CC 8592 to characterizing its tolerance to water stress, considering diverse parameters that allow to conclude on the behavior of the variety species at different humidity levels. There was used a complete randomized design, with 4 treatments and 4 repetitions; the plants seeded in plastic pots (3 kg) using a mix of cachaza and fine coal (3:1). The bulk modulus of elasticity of the cellular wall was between 0.5 and 0.76 MPa, the turgente weight / dry weight was between 3.27 and 3.49. The variety behaved equal in conditions of deficit or excess of water, due to characteristics as the high elasticity of the wall cellular and osmótico adjustment, which indicates that it is efficient in the use of the water.

Key words: P-V curve; water potential; volumetric elasticity module of the wall cell, water stress.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento celular es uno de los procesos fisiológicos más sensibles al déficit hídrico, ya que la sequía severa reduce el área foliar y acelera la senescencia de las hojas maduras; además, la fotosíntesis y la transpiración se alteran debido a la reducción de la turgencia, el cierre estomático y el bloqueo de la difusión del CO₂ hacia el mesófilo. Por lo tanto, es conveniente caracterizar las especies cultivables en cuanto al grado de adaptación a la sequía y evaluar el compor-

tamiento fenotípico y el fisiológico, el cual se puede caracterizar mediante el ajuste osmótico y en elasticidad de la pared celular, entre otros (Parra, Berril y Castañeda, 2002).

El estado hídrico en las plantas se puede describir cuantitativamente mediante el potencial hídrico. Este factor controla y explica el movimiento del agua en el continuo suelo-planta-atmósfera, así como entre células, tejidos y órganos. El potencial hídrico se determina mediante instrumentos como el psicrómetro de termopares y la cámara de presión (Ascon y Talon, 1993 y 2001).

En 1965, Scholander y cols desarrollaron una técnica para medir el potencial hídrico en unidades de presión. El método consiste en aplicar presión sobre una hoja cortada hasta que aparece el agua en el extremo seccionado del tallo o del pecíolo. Se interpreta que la

1. Ingeniero Agrónomo.

2. Profesores de la Universidad Nacional de Colombia.

Autor para correspondencia smejia@palmira.unal.edu.co

presión positiva aplicada a la hoja corresponde a la presión negativa o tensión con la cual el agua estaba retenida en el interior del tallo antes de cortarse. Una ventaja de la cámara de presión es que mide rápidamente el potencial hídrico, y también se puede utilizar para medir la relación presión-volumen del tejido vegetal. Si se aplica presión adicional por encima de la presión de equilibrio inicial, se obtiene un volumen de líquido xilemático que se puede recoger y determinar; haciendo esto de manera progresiva se puede establecer una curva presión-volumen. Una vez que la presión de turgencia alcanza valor cero, la representación de $1/p$ en función de v se hace lineal. Estas curvas permiten la determinación de un amplio espectro de parámetros hídricos en los tejidos: contenido hídrico total, relación peso turgente/peso seco, contenido hídrico relativo (CHR), contenidos hídricos apoplástico y simplástico, contenido hídrico simplástico relativo, presión osmótica a plena turgencia, presión osmótica a turgencia cero, contenido hídrico relativo a turgencia cero, módulo de elasticidad promedio, isothermas de potencial hídrico, diagrama de Höfler (Ascon Bieto y Talon, 1993, 2001).

Por las consideraciones anteriores, el objetivo de la investigación fue determinar la curva presión - volumen de la caña de azúcar *Saccharum* spp variedad CC 8592 con el fin de conocer su capacidad fisiológica para resistir el estrés hídrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en las casas de malla de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, entre febrero y octubre de 2002. Se empleó un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron capacidad de campo (CC), un medio de capacidad de campo (1/2 CC), un cuarto de capacidad de campo (1/4 CC) y tres medios de capacidad de campo (3/2 CC). En la siembra se utilizó como medio de cultivo cachaza - carbonilla en una relación 3:1, con capacidad de campo del 68% de humedad. El riego se aplicó a diario, suministrando la cantidad de agua perdida durante el día inmediatamente anterior. El agua aplicada se calculó a partir de la diferencia de peso teniendo en cuenta las características de cada tratamiento.

El potencial hídrico se determinó con la cámara de presión, la cual consta de un vaso de presión, un cabezote, un manómetro y una válvula de control. El procedimiento comenzó con la selección de cuatro hojas por tratamiento en la tarde inmediatamente anterior, realizando un corte limpio del pecíolo y colocán-

dolas posteriormente en agua destilada, protegiéndolas contra la deshidratación, se almacenaban en condiciones de oscuridad y baja temperatura (8° C).

En horas de la mañana del día siguiente cada hoja se pesó y se introdujo en el cilindro de la cámara de presión, se tomó el valor de su potencial y posteriormente se dejó a libre exposición. El procedimiento se repitió hasta que el peso de la hoja fue constante; luego de alcanzar el peso constante la muestra se secó a 80°C para determinar el peso de materia seca.

El gráfico construido representa en el eje de las ordenadas el valor del inverso del potencial hídrico ($1/\Psi$ w) en MPa y en el eje de las abscisas, el valor de $1-CHR$. En el eje de las abscisas, la escala normalmente empleada es de orden decreciente, iniciando por CHR igual al 100% en donde se cruzan los ejes. Al principio la curva tiene una tendencia cuadrática o exponencial, y posteriormente, cuando la presión de turgencia se anula, se torna rectilínea.

A partir de la curva p-v se calcularon los siguientes parámetros:

1. Contenido hídrico total:
 $V_t = P_t - P_s$, donde:
 V_t = volumen total, P_t = peso turgente, P_s = peso seco
2. Relación peso turgente / peso seco.
3. Contenido hídrico relativo:
 $CHR = 100(P_t - P_f) / (P_t - P_s)$; donde
 P_f = peso fresco
4. Contenido de hídricos apoplástico y simplástico: se calculó a partir de la extrapolación de la recta que relaciona $1/\Psi$ y V , en el punto $1/\Psi = 0$ es la fracción simplástica (V_s) y la apoplástica ($V_t - V_s$); donde:
 Ψ = potencial hídrico y V = volumen.
5. Contenido hídrico simplástico relativo:
 $CHSR = 100(V_s - V_t) / V_s$
 V_s = volumen simplástico
6. Presión osmótica a plena turgencia. La prolongación de la línea recta que relaciona a $1/\Psi$ y CHR, siendo CHR 100% da el inverso de la presión de equilibrio, equivalente a la presión osmótica a plena turgencia.
7. Presión osmótica a turgencia cero. Determinando el punto en el cual la curva P-V se hace lineal, se puede calcular la presión osmótica a turgencia cero.
8. Contenido hídrico relativo a turgencia cero:
 $CHR_{\pi 0} = 100(P_t - P_f) / (P_t - P_s)$
 $CHR_{\pi 0}$ = contenido relativo de humedad cuando el potencial hídrico es cero.
 P_t = peso a turgencia.
 P_f = peso fresco.
 P_s = peso seco.

9. Módulo de elasticidad promedio.

$$\epsilon = ((P1 - P2)/(R1 - R2)) * (Rm - Ra); \text{ donde:}$$

P1: Presión en el punto 1

P2: Presión en el punto 2

R1: CHR en el punto 1

R2: CHR en el punto 2

Rm: Promedio CHR de R1 y R2

Ra: Fracción de agua apoplástica. (De Almeida, 1997). Aunque el potencial hídrico de las plan-

tas siempre es negativo, para fines de investigación y en la siguiente discusión se trabaja con valores absolutos (positivos), pero es importante realizar la conversión y comprenderla en su valor real (negativo).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los pares de datos obtenidos se graficaron cuatro curvas presión - volumen correspondientes a los tratamientos. De estas se estimaron los parámetros pertinentes ([Cuadro 1](#)).

Cuadro 1. Parámetros hídricos calculados a partir de la curva presión - volumen en la variedad de caña de azúcar CC 8592.

Parámetro	Unidades	Nivel de humedad del suelo			
		3/2 CC	CC	1/2 CC	1/4 CC
Contenido hídrico total	cm ³	1.35	1.04	1.17	1.11
Relación peso turgente/peso seco		3.31	3.27	3.36	3.49
Contenido hídrico simplástico	cm ³	1.05	0.85	1.02	0.84
Contenido hídrico apoplástico	cm ³	0.29	0.19	0.15	0.27
Contenido simplástico relativo	%	28.20	22.00	15.00	31.57
Presión osmótica a plena turgencia	MPa	1.12	1.16	1.16	1.11
Presión osmótica a turgencia cero	MPa	1.39	1.56	1.45	1.57
Contenido hídrico relativo a turgencia cero	%	83.00	78.40	84.00	77.50
Módulo volumétrico de elasticidad	MPa	0.61	0.61	0.77	0.56

Las figuras mostraron comportamiento similar a las presentadas por Azcon Bieto y Talon (2001). Al principio, por encontrarse las hojas saturadas, el contenido de humedad relativo fue alto, por tanto, el potencial hídrico alto, ya que las células se encuentran hidratadas ocasionando que la concentración de solutos sea baja, y como el potencial del agua pura es 0, el potencial hídrico de las hojas saturadas sea cercano a cero.

A medida que la hoja perdió agua, el potencial hídrico bajó, con tendencia logarítmica o exponencial ([Figuras 1, 2, 3 y 4](#)), hasta que la relación se volvió rectilínea; las células deshidratadas retienen el agua que les queda a altos potenciales, debido a diferentes mecanismos, como el ajuste osmótico. En la variedad CC

8592 de caña de azúcar el potencial hídrico puede ascender hasta -2.6 MPa.

La relación peso turgente - peso seco, que estima la acumulación de solutos en el tejido, para la variedad CC 8592 estuvo entre 3.27 a 3.49; comparando este valor con el obtenido por Ruiz (1999) en chachafruto, el cual fue de 0.22, fue relativamente alto, lo que indica que la variedad es altamente eficiente en el uso del agua.

No se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores de los tratamientos ([Cuadro 2](#)), indicando que la caña de azúcar variedad CC 8592 se comporta fisiológicamente igual dentro de los rangos de humedad considerados en el ensayo.

Cuadro 2. Análisis estadístico de variables hídricas.

Variable	Pr > F
Contenido Humedad Relativa (%)	0.3174 ns
Potencial Hídrico (MPa)	0.1262 ns
Módulo volumétrico de Elasticidad Promedio (MPa)	0.0287 *

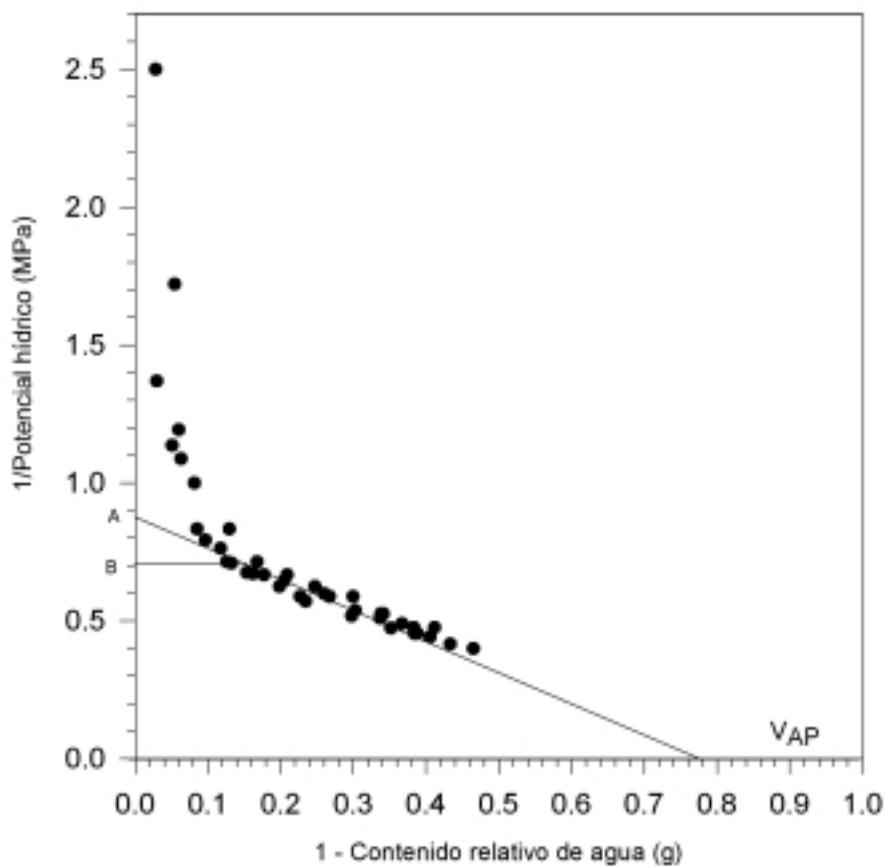


Figura 1. Curva Presión - Volumen para el sustrato a 3/2 capacidad de campo de la caña de azúcar, variedad CC8592.

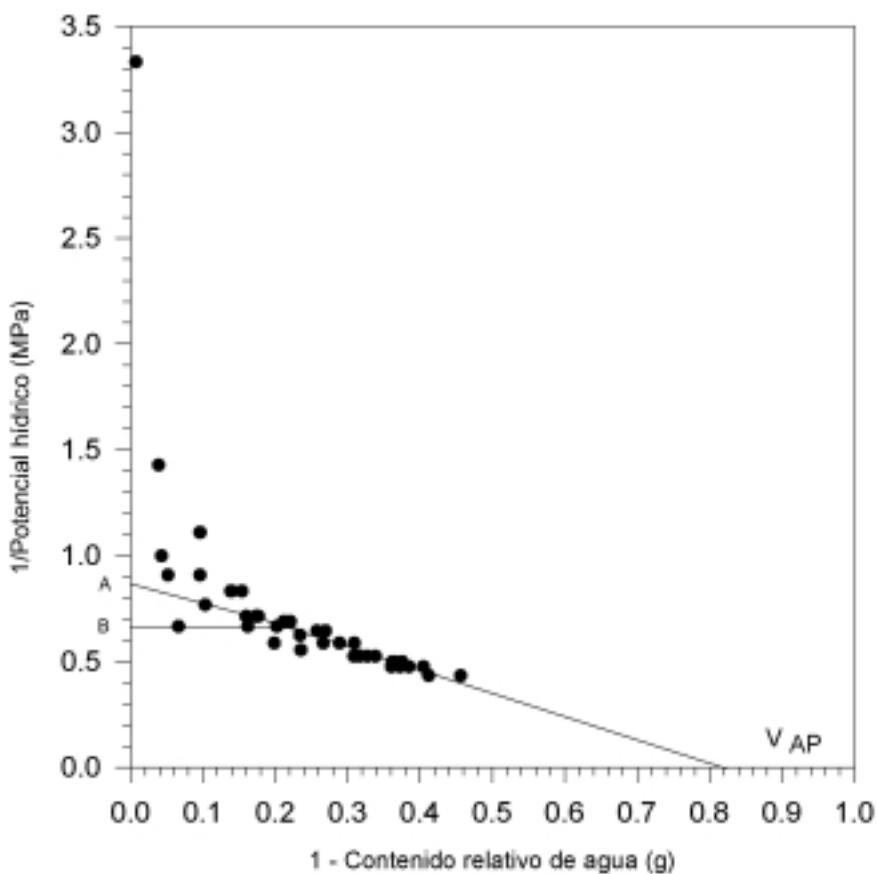


Figura 2. Curva Presión - Volumen para el sustrato a capacidad de campo de la caña de azúcar, variedad CC8592.

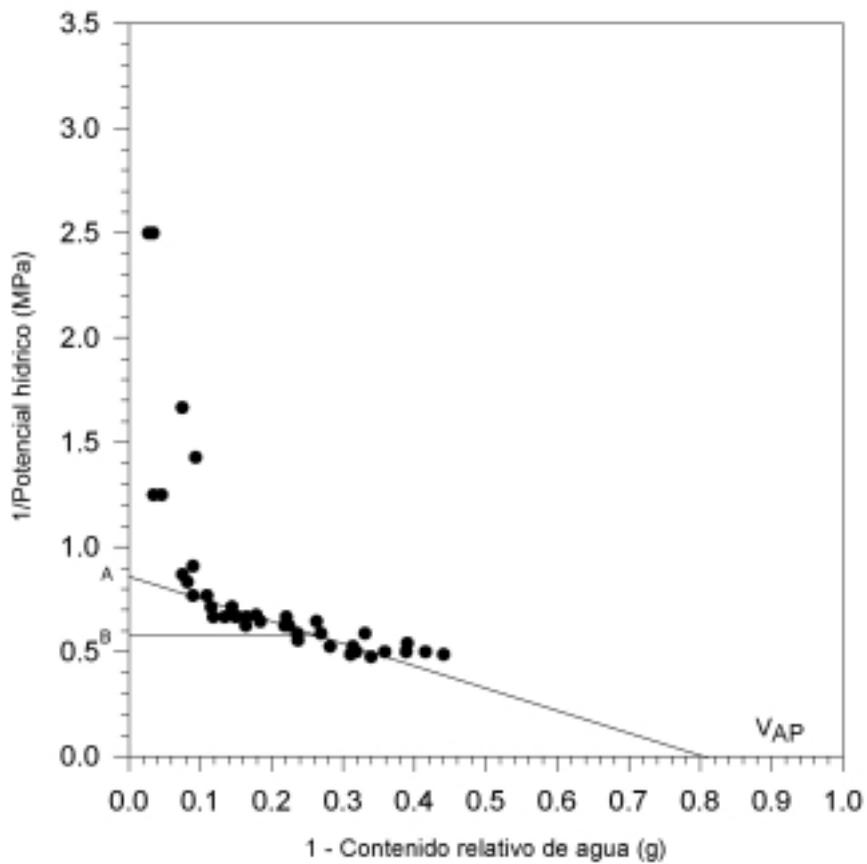


Fig. 3. Curva Presión - Volumen para el sustrato a 1/2 capacidad de campo de la caña de azúcar, variedad CC8592.

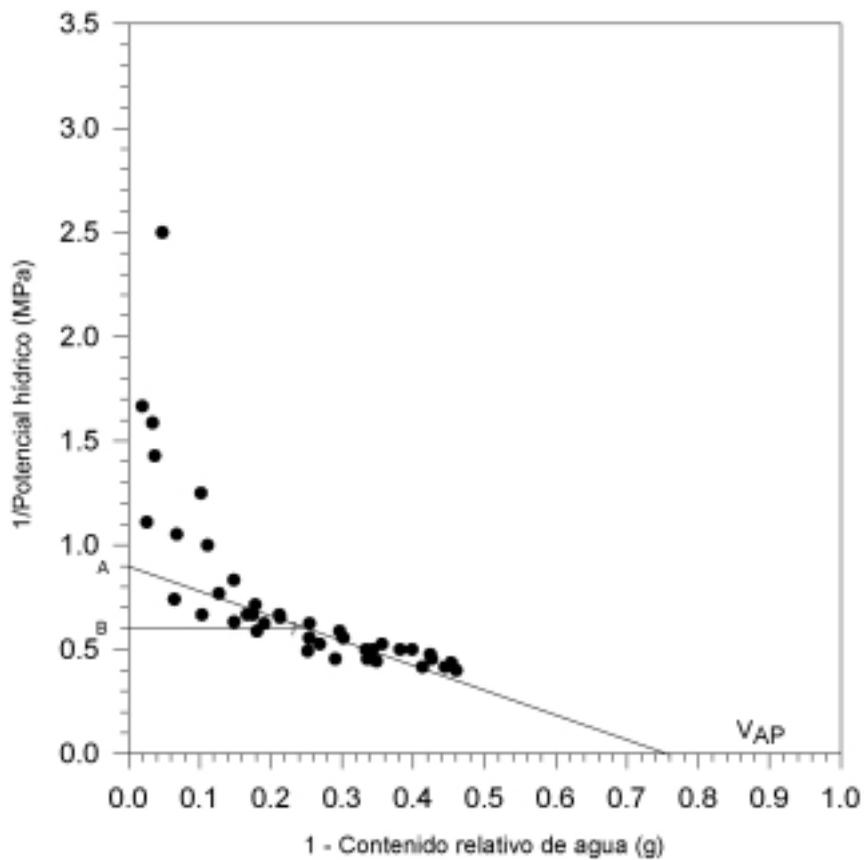


Figura 4. Curva Presión - Volumen para el sustrato a 1/4 capacidad de campo de la caña de azúcar, variedad CC8592.

Para el contenido hídrico relativo no existieron diferencias significativas entre los tratamientos, indicando que el volumen de agua en las células de caña de azúcar es igual en condiciones normales y estresantes de humedad en el suelo. Para la variable potencial hídrico no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que se dice que la variedad de caña de azúcar CC 8592 retiene el agua en las mismas presiones en diferentes niveles de humedad en el suelo.

En el módulo volumétrico de elasticidad de la pared celular se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, y 1/2 CC es superior a los demás, y entre los tres restantes no se presentaron diferencias significativas (Cuadro 2). El tratamiento 1/4 CC se caracterizó por ser el más estresante al provocar gran déficit hídrico en la planta. En respuesta a este factor la planta tiene que buscar un mecanismo que le permita tolerar tal situación, y uno de ellos es la elasticidad de las paredes celulares. Especies con menores módulos promedio de elasticidad de la pared celular son más tolerantes al estrés hídrico, al ser más elásticas sus células ya que presentan una alta tasa de ajuste que les sirve para retener agua a diferentes potenciales hídricos (Azcon Bieto y Talon 2001). Como el menor módulo promedio de elasticidad lo registró el tratamiento más estresado por déficit hídrico, se puede afirmar que la caña de azúcar tiene ese mecanismo de defensa.

En 1997 De Almeida comentó que las paredes celulares más elásticas presentaron menores valores de módulo volumétrico de elasticidad de la pared celular, y permitieron el ajuste de la pared a medida que entró o salió agua de la célula y se mantuvo una presión constante, fundamental para seguir con los diversos procesos fisiológicos de la planta. Paredes celulares rígidas con altos módulos volumétricos de elasticidad no permiten tal ajuste y por lo tanto no son capaces de mantener su presión, la cual no es suficiente para mantener la

tasa de división celular y otros procesos de vital importancia para la planta (Ruiz, 1999).

Algunos investigadores han medido el módulo de elasticidad de la pared celular en algunas especies. En 1978 Jones y Turner registraron valores para sorgo de 8 - 18 MPa en 1982; Melkonian y colaboradores, entre 23.3 a 27.9 MPa para trigo, y en 1999 Ruiz 27.2 MPa en chachafruto (Ruiz, 1999). Comparado con estos valores se puede decir que la variedad CC8592 es tolerante al estrés hídrico.

Los datos obtenidos en el ensayo permiten concluir que la variedad CC 8592 es tolerante al estrés hídrico y que cuenta con mecanismos fisiológicos como el ajuste osmótico y la elasticidad de sus paredes celulares que le permiten el uso eficiente del agua, este análisis corrobora las observaciones de campo realizadas por Cenicaña (2002), donde se afirma que la variedad CC 8592 posee alta capacidad de adaptación a diferentes ambientes de humedad en el suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Azcon-Bieto J.; Talon, M. 1993. Fisiología y Bioquímica Vegetal, Interamericana McGraw - Hill. 581 p.
- Azcon-Bieto J. y Talon M. 2001. Fundamentos de Fisiología Vegetal, Interamericana McGraw - Hill. 450 p.
- Cenicaña. 2002. Características agronómicas y de productividad de la variedad Cenicaña Colombia (CC) 8592 (Serie técnica No. 30) Cali - Colombia, 79 p.
- De Almeida, Francisco. 1997. En: Curso de relaciones hídricas. Corpoica.
- Kumar, A., D.P. Singh y P. Singh. 1994. Influence of water stress on photosynthesis, transpiration, water use efficiency and yield of Brassica juncea L. *Field Crop Res.* 37: 95-10.
- Parra, R; Becerril, E. y Castañeda, C. 2002. Transpiración, resistencia estomática y potenciales hídricos en Manzano «golden delicious» injertado sobre porta injertos clonales. *Terra* (México). Vol. 20 No. 2. <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/20/2/art113-121.pdf>
- Ruiz J., 1999, Potencial hídrico y curva presión volumen en Chachafruto *Erythrina edulis*. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 60 p.