

“EFECTO DE LA DISPONIBILIDAD DE HUMEDAD DEL SUELO SOBRE EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR”

Harold Tafur Hermann*
Sung Jen Yang **

COMPENDIO

Se realizó el ensayo en lisímetros evaluando la variedad PR 61-632 frente a cuatro regímenes de agotamiento del agua aprovechable del suelo (0, 20, 50 y 80 o/o). Los lisímetros se cubrieron con un techo de polietileno para interceptar la lluvia. El ensayo constituyó un diseño en cuadrado latino con cuatro repeticiones. La tasa de evapotranspiración decreció con la disminución del contenido de agua aprovechable del suelo. Tanto la población como la longitud de tallos se redujeron significativamente cuando el agua aprovechable del suelo estuvo por debajo del 50 o/o. La producción de caña y la de azúcar de los dos tratamientos más secos fue significativamente más baja que la de los dos más húmedos. Para propósitos de programación de los riegos, se sugiere que ésta variedad se riegue cuando se haya agotado el 45 o/o del agua aprovechable. El factor K para la PR 61-632 es 0.35 en los primeros cuatro meses de edad y 1.0 para el resto del período de desarrollo.

ABSTRACT

The experiment was conducted in lysimeters by using four soil moisture regimes irrigated when 0 (field capacity), 20, 50 and 80 o/o respectively of the total available water content was exhausted to evaluate the soil water availability to sugar cane variety PR 61-632. The lysimeters were covered with polyethylene selter to avoid the interference of rainfall. It was designed in a latin square with 4 replications. The evapotranspiration rate decreased sharply with decreasing soil water available water content. Plant population and stalk elongation were reduced significantly when soil available water was lower than 50 o/o. As a result, both cane and sugar production of two dry treatments were significantly lower than that of two wet regimes. For scheduling purpose, it is suggested that this variety should be irrigated when 45 o/o of the total available water is exhausted and the K factor is 0.35 when cane is younger than 4 months and is 1.0 for the rest of the growth period.

* Estudiante de Posgrado, Universidad Nacional de Colombia. Palmira.

** Centro de Investigación de la Caña de Azúcar - CENICAÑA

1. INTRODUCCION

En el Valle del Cauca, en 1984, se estaban cultivando cerca de 135 000 ha de caña de azúcar, unas 124 000 de las cuales estaban bajo riego (Torres y Yang, 4). Sin embargo, la práctica del riego en la mayoría de los casos se realiza en forma empírica, sin tener en cuenta las relaciones suelo- agua- planta-atmósfera, que permitirían hacer una programación más racional del riego y por consiguiente del uso del agua.

El punto de marchitez permanente para diferentes variedades de caña se encuentra por encima de 30 atmósferas de tensión de humedad del suelo (Yang, 5). La tasa de crecimiento de la caña disminuye cuando la tensión de humedad del suelo supera las 2 atmósferas (Robinson, 2) y el crecimiento se detiene antes de que la humedad del suelo llegue a punto de marchitez permanente (Clements, 1). Además, existe relación lineal entre la producción de caña y la de azúcar con respecto a la evapotranspiración (Thompson, 3).

El conocimiento del factor "K", la relación entre evapotranspiración y evaporación (ET/EV), facilita la estimación de la evapotranspiración de los cultivos, multiplicando dicho factor por el valor de la evaporación del tanque clase A (Torres y Yang, 4). A su vez, el conocer la evapotranspiración permite hacer uso del balance hídrico como una metodología que facilita un manejo más racional de la programación de los riegos.

El trabajo pretendió evaluar la disponibilidad de humedad del suelo para la caña de azúcar en el rango de capacidad de campo y un valor cercano a punto de marchitez permanente; evaluar el efecto de la disponibilidad de humedad del suelo sobre la evapotranspiración; evaluar el efecto del déficit de humedad del suelo sobre el crecimiento, producción de caña y producción de azúcar y hacer sugerencias sobre el manejo del balance hídrico en el control de los riegos.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El trabajo se realizó con la variedad PR 61-632, en un suelo Vertic Ustropept de la Serie Palmeras, en la estación experimental del Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (CENICANA), ubicada en el corregimiento de San Antonio, municipio de Florida, Valle del Cauca, Colombia. El ensayo constó de cuatro tratamientos según el nivel de agotamiento del agua aprovechable: 0 (régimen húmedo), 20 (régimen medio húmedo), 50 (régimen medio seco) y 80 o/o (régimen seco).

Cada tratamiento tuvo cuatro replicaciones constituyendo un diseño en cuadrado latino. Cada parcela estuvo representada por un lisímetro de percolación (1.5 m x 1.2 m y 1.2 m en su parte menos profunda) con paredes y fondo de concreto reforzado. Al fondo se le dió cierta inclinación para el drenaje del agua de percolación. Los lisímetros se conectaban por tuberías individuales de PVC a una caseta de percolación, donde unas válvulas controlaban la salida del agua percolada.

En los lisímetros correspondientes a los tratamientos húmedo y medio húmedo se instalaron piezómetros a 15, 30, 45, 60 y 75 cm de profundidad. En todos los lisímetros se instaló un tubo de aluminio para dar acceso a una sonda de neutrones hasta una profundidad de 1.0 m. La información de los tensiómetros y de la sonda de neutrones permitía decidir el momento de riego en los tratamientos. Las lecturas de tensiómetro se hacían diariamente y las de sonda cada semana, y en los tratamientos medio seco y seco se leía, además, con la sonda antes y después de un riego.

En cada parcela se sembraron las semillas vegetativas de caña en surco, con una densidad equivalente a 60 000 yemas por ha o sea aproximadamente 11 yemas por parcela. La zona aledaña al ensayo también se sembró con PR 61-632 en las mismas condiciones. Cada parcela se fertilizó con 100 kg/ha de N, 75 kg/ha de P_2O_5 y 75 kg/ha de K_2O en el momento de la siembra. La zona del ensayo se cubrió con techo de polietileno para interceptar la lluvia.

Hasta dos meses después de la siembra se regaron por igual todos los tratamientos para proporcionar una germinación homogénea. El riego se realizó de forma volumétrica, es decir, calculando la lámina necesaria en cada caso y multiplicándola por el área del lisímetro o parcela. Para el cálculo de la lámina se consideró una profundidad de raíces de 60 cm para los primeros 4.5 meses y de 80 cm de allí en adelante. El riego se suspendió un mes antes de la cosecha.

La percolación de los lisímetros se hizo una vez por semana, para hacer el balance de la humedad en los mismos. Un conteo de población y de longitud de tallos se efectuó cada mes a partir del segundo mes de edad del cultivo. En el sexto, octavo y décimo mes se midió el índice de crecimiento durante diez días consecutivos. Durante estos mismos meses se hizo análisis de tejido en la hoja TVD para determinar N, P, K, Ca y Mg. Al momento de la cosecha se hizo un muestreo de tallos donde se determinó Brix en el campo (o/o de sólidos presentes en el jugo). Posteriormente se contabilizó el número de tallos por parcela, longitud, diámetro y peso de los mismos. Además se determinó en el laboratorio nuevamente el Brix, Pureza (o/o de sacarosa en el jugo), azúcar recuperable estimada (o/o) y Fibra (o/o de material no

digerible ni soluble en ácido o bases).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Patrón de extracción de agua de la caña en relación con el régimen de humedad.

En términos generales, en las características físico-químicas del suelo no ocurrieron mayores variaciones hasta los 60 cm (Cuadro 1). El agua aprovechable del suelo se tomó como un 20 o/o en base volumétrica, es decir, en 2 mm/cm.

Las lecturas de tensiómetros durante los 14 meses del experimento, en los tratamientos húmedo y medio húmedo, permitieron definir el comportamiento de la tensión de humedad del suelo a través del tiempo. En términos generales, en el tratamiento húmedo la tensión de humedad del suelo se mantuvo por debajo de 20 centibares; sólo se presentaron valores relativamente más altos, en la superficie y disminuyeron inmediatamente después del riego. En el tratamiento medio húmedo, las oscilaciones de la tensión son mucho más marcadas: los valores ascienden en ocasiones por encima de 60 centibares, ante todo en las primeras profundidades, para descender inmediatamente después del riego; en las profundidades inferiores las oscilaciones son menores.

Todo lo anterior es una muestra del comportamiento de las raíces en la extracción de humedad desde el suelo. Se logró obtener en todos los tratamientos el patrón de extracción de agua en la primera etapa de desarrollo (hasta los 4.5 meses) y en la etapa de máximo desarrollo (Fig. 1 a 5).

3.2. Respuesta de la evapotranspiración al contenido de agua aprovechable.

En los primeros meses de desarrollo no se observaron mayores diferencias entre los tratamientos como consecuencia de un contenido de agua aprovechable similar en cada uno de ellos (Cuadro 2, Fig. 6). A partir del tercer mes aumentó la evapotranspiración de los tratamientos más húmedos y disminuyó en los más secos, como consecuencia del contenido de agua aprovechable en el suelo. A partir de ese mes el aumento de la evapotranspiración continua en los dos tratamientos más húmedos hasta el sexto mes; luego disminuyen sus valores como consecuencia de una menor exigencia atmosférica (disminución de la evaporación). Posteriormente ascienden nuevamente sus valores, para luego disminuir en los últimos meses en la época de agotamiento y maduración. La evapotranspiración en los tratamientos más secos disminuye a partir del tercer mes y vuelve a ascender después del riego; estas oscilaciones son respuestas al contenido de agua aprovechable en el sue-

Cuadro 1

Propiedades físico-químicas del suelo

Profundidad cm	Textura	pH	M. O. (o/o)	P (ppm)	Meq/100 g suelo			Densidad aparente (g/cm ³)	Capac. de campo (0.1 bares) (cm ³ /cm ³)	Punto de Marchitez Permanente (15 bares) (cm ³ /cm ³)
					Ca	Mg	K			
0 - 20	Ar	7.4	1.91	9.96	16.99	9.26	0.31	1.24	0.47	0.27
20 - 60	Ar	7.5	1.89	8.29	18.77	9.33	0.33	1.23	0.48	0.28

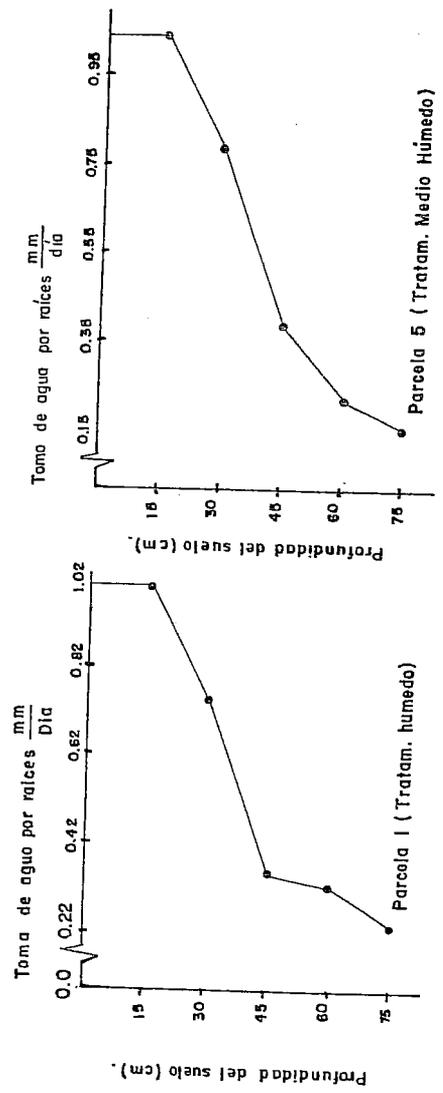
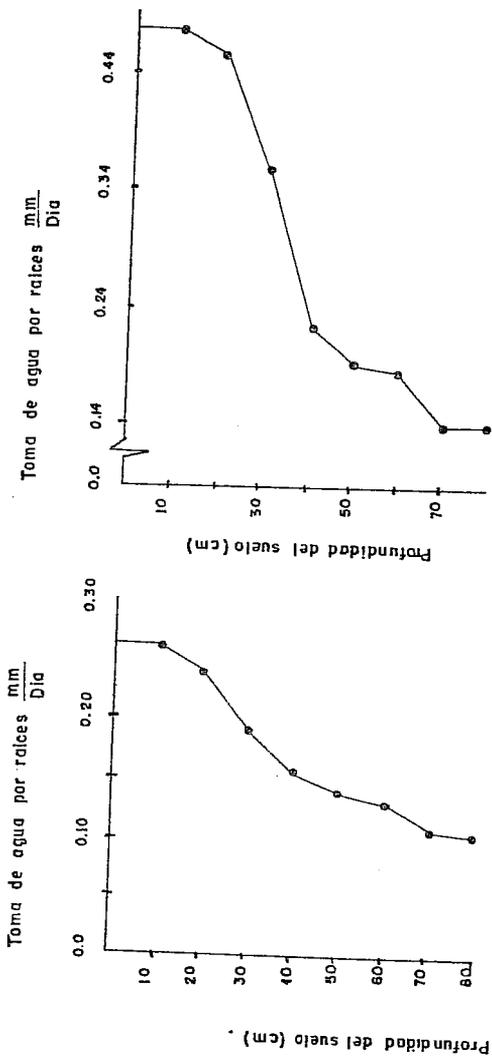
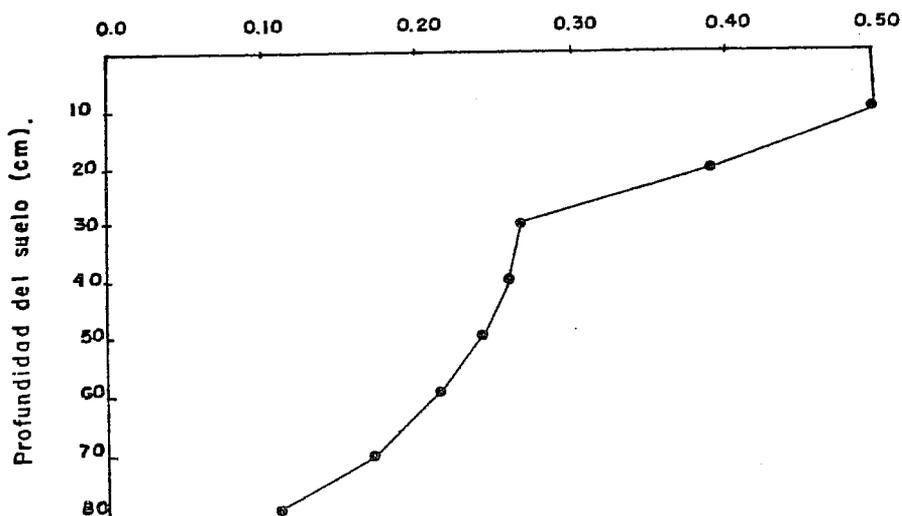


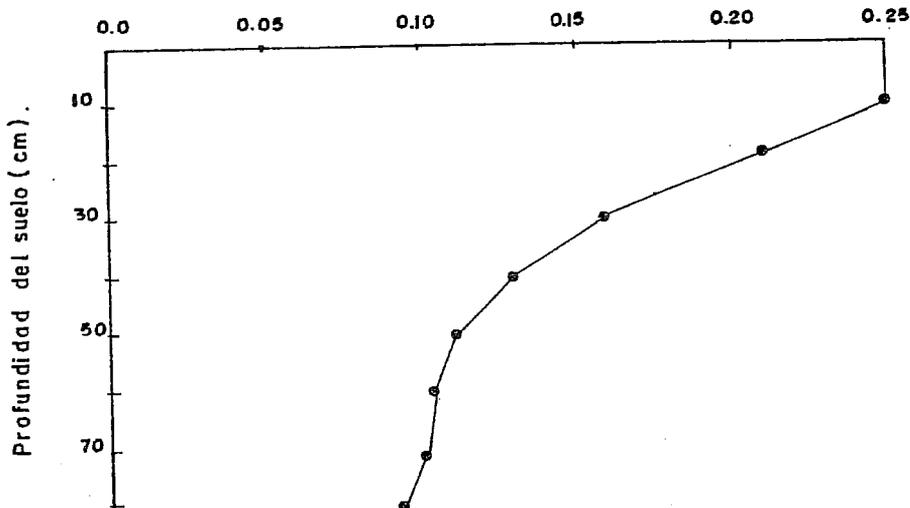
Fig. 1. Perfiles de toma del agua del suelo en cuatro parcelas representativas de los cuatro tratamientos en la primera etapa de desarrollo de la caña.

Toma del agua por raíces (mm/día)



Parcela 7 (Tratamiento medio seco).

Toma de agua por raíces (mm/día).



Parcela II (Tratamiento seco).

Fig 2. Perfiles de toma del agua del suelo en dos parcelas representativas de los tratamientos más secos en la etapa de máximo desarrollo.

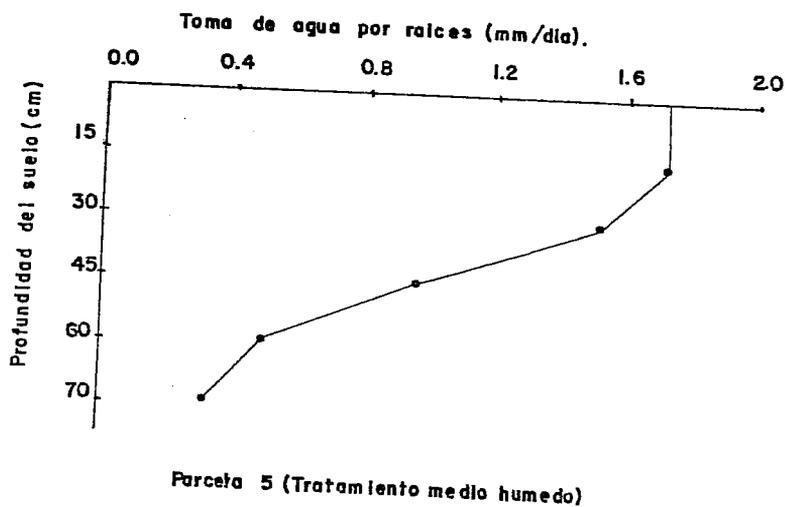
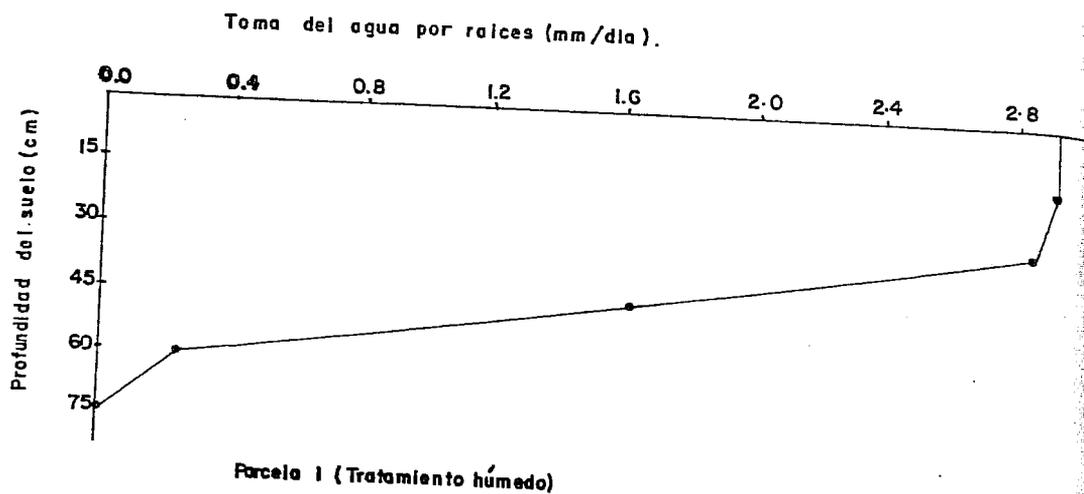
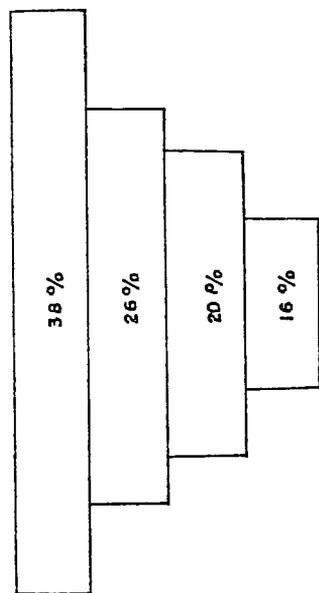
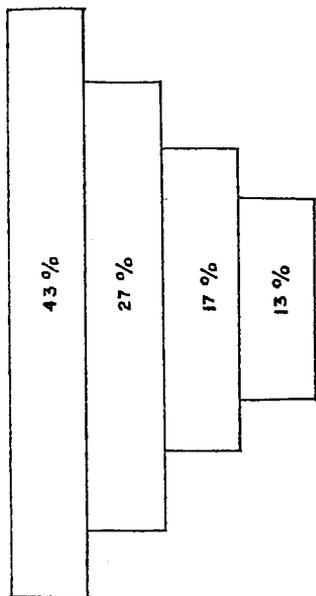


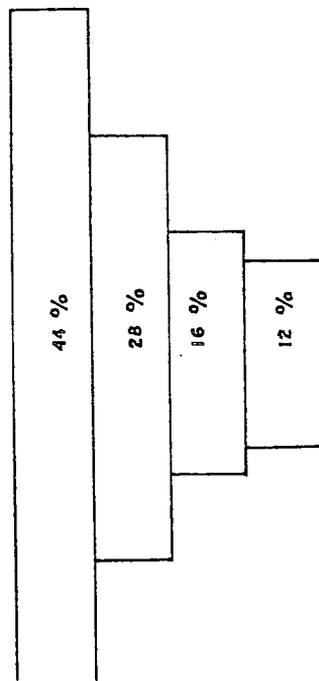
Fig 3. Perfiles de toma de agua del suelo en dos parcelas representativas de los tratamientos más húmedos en la etapa de máximo desarrollo.



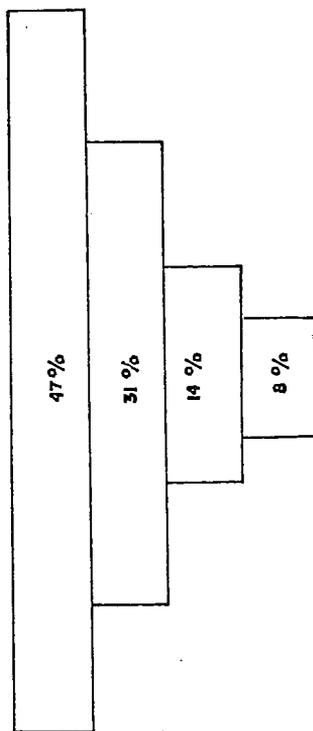
Parcela 8 . (Trat. Seco) .



Parcela 7 . (Trat. Medio seco) .

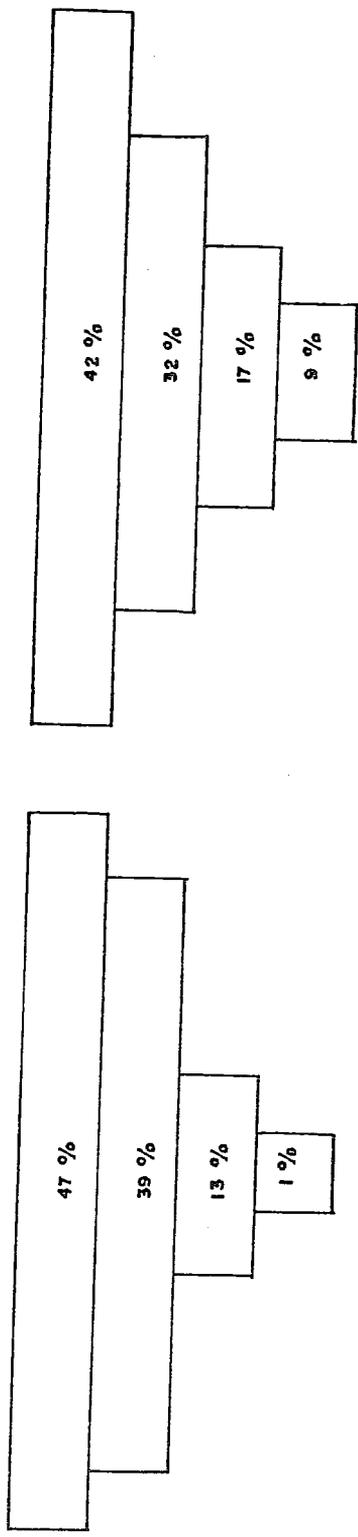


Parcela 1 . (Trat. Húmedo) .



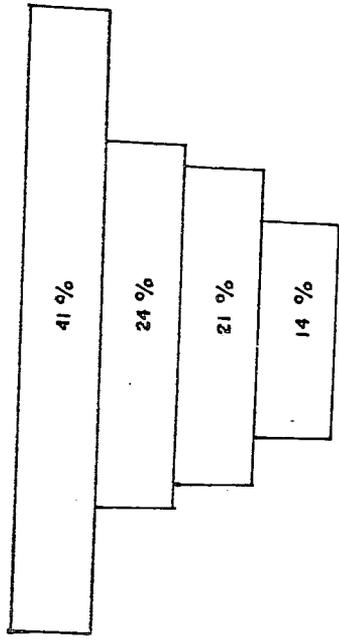
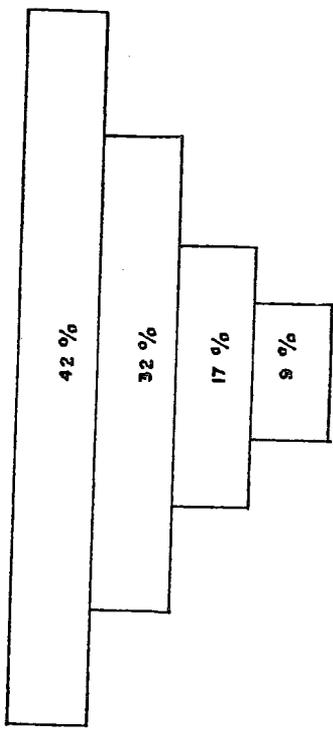
Parcela 5 . (Trat. Medio húmedo) .

Fig 4. Representación esquemática del patrón de extracción de humedad del suelo en cuatro parcelas representativas de los cuatro tratamientos en la primera etapa de desarrollo.

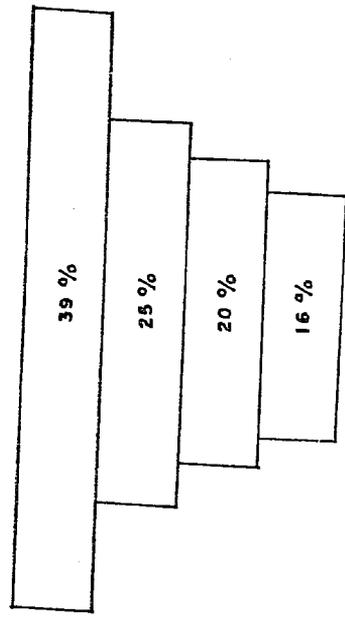


Parcela 1. (Trat. Húmedo)

Parcela 5 (Trat. medio húmedo).



Parcela 7. (Trat. Medio seco)



Parcela 11 (Trat. Seco)

Fig 5. Representación esquemática del patrón de extracción de humedad del suelo en cuatro parcelas representativas de los cuatro tratamientos en la etapa de máximo desarrollo.

Cuadro 2

Datos hidrológicos obtenidos para los diferentes tratamientos

Tratamiento	Parámetro	Oct.-Nov. (1-2) ¹	Dic. (3)	Ene. (4)	Feb. (5)	Mar. (6)	Abr. (7)	May. (8)	Jun. (9)	Jul. (10)	Agosto. (11)	Sep. (12)	Oct. (13)	Nov. ³ (14)	Total	
Húmedo	Agua aplicada (mm)	86.2	91.8	102.8	116.7	161	199.8	163.7	139.3	161.1	183.3	183.2	100.0	0	1688.9	
	Percolación (mm)	11.4	53.9	16.9	8.2	5.7	2.5	2.6	4.0	0.2	0.2	3.9	0.6	0	110.1	
	Agua neta recib. (mm)	74.8	37.9	85.9	108.5	155.3	197.3	161.1	153.3	160.9	183.1	179.3	99.4	0	1578.8	
	Δ LAS ² (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-7.1	-30.6		
	Evaporación (mm)	230.7	143.1	134.9	140.3	167.5	155.4	155.4	139.1	127.2	155.6	149.4	142.5	137.7	71.5	1894.2
	Evapotranspirac. (mm)	74.8	37.9	85.9	108.5	155.3	197.3	161.1	135.8	160.9	183.3	179.3	106.3	30.6	1616.5	
	Factor K	0.32	0.26	0.64	0.77	0.93	1.27	1.16	1.06	1.03	1.23	1.26	0.77	0.43	0.86 = \bar{X}	
Medio húmedo	Agua aplicada (mm)	106.3	69.4	105.5	136.8	155.4	166.8	134.8	92.3	111.2	122.2	172.1	122.2	0	1497.0	
	Percolación (mm)	24.3	35.3	9.7	10.2	10.9	26.4	5.6	8.7	3.2	1.6	0.2	1.8	0	137.9	
	Agua neta recib. (mm)	82.0	34.1	95.8	126.6	144.5	140.4	129.2	83.6	108.0	120.6	171.9	120.4	0	1359.1	
	Δ LAS ² (mm)	0	9.3	0	0	-18.0	-10.4	3.0	-13.7	-18.3	-18.5	0	-10.3	-41.9		
	Evaporación (mm)	230.7	143.1	134.9	140.3	167.5	155.4	139.1	127.2	155.6	149.4	142.5	137.7	71.5	1894.2	
	Evapotranspirac. (mm)	82.0	40.4	95.8	128.6	162.5	150.5	126.2	97.3	126.3	139.1	171.9	130.7	41.9	1493.2	
	Factor K	0.36	0.28	0.71	0.92	0.97	0.97	0.90	0.76	0.81	0.93	1.20	0.95	0.59	0.80 = \bar{X}	
Medio seco	Agua aplicada (mm)	127.8	44.4	0	0	86.1	0	98.5	0	138.9	144.4	0	94.4	0	734.5	
	Percolación (mm)	76.9	9.5	0	0	3.5	0	0.6	0	3.1	34.0	0	4.0	0	131.6	
	Agua neta recib. (mm)	50.9	34.9	0	0	82.6	0	97.9	0	135.8	110.4	0	90.4	0	602.9	
	Δ LAS ² (mm)	0	-37.0	-34.3	-28	-10.3	-16.0	+42.9	-23.6	+18.6	-75.3	-70.8	+24.3	-19.5		
	Evaporación (mm)	230.7	142.1	134.9	140.8	167.5	155.4	139.1	127.2	155.6	149.4	142.5	137.7	71.5	1894.2	
	Evapotranspirac. (mm)	50.9	71.9	34.3	28	92.9	16	55	23.6	87.2	35.1	70.8	66.1	19.5	651.3	
	Factor K	0.22	0.50	0.25	0.20	0.35	0.10	0.40	0.19	0.56	0.23	0.50	0.48	0.14	0.33 = \bar{X}	
Seco	Agua aplicada (mm)	155.6	0	0	0	0	111.2	0	168.0	0	0	211.3	0	0	646.1	
	Percolación (mm)	64.0	0	0	0	0	1.4	0	3.7	0	0	43.3	0	0	112.4	
	Agua neta recib. (mm)	91.6	0	0	0	0	109.8	0	164.3	0	0	168.0	0	0	553.7	
	Δ LAS ² (mm)	0	-42	-23.0	-21.2	-21.9	+26.7	-13.7	+115.0	-52.2	-28.6	+55.5	-33	-10.0		
	Evaporación (mm)	230.7	143.1	134.9	140.3	187.5	155.4	139.1	127.2	155.6	194.4	142.5	187.7	71.5	1894.2	
	Evapotranspirac. (mm)	91.6	42	23	21.2	21.9	83.1	13.7	49.3	52.2	28.6	112.5	33	10	582	
	Factor K	0.39	0.29	0.17	0.15	0.13	0.53	0.10	0.39	0.34	0.19	0.79	0.24	0.14	0.30 = \bar{X}	

1. Los números dentro del parentesis significan la edad de la caña

2. Significa cambio en la lámina de agua del suelo (los valores negativos indican disminución de la humedad).

3. En noviembre se incluyen 18 días únicamente.

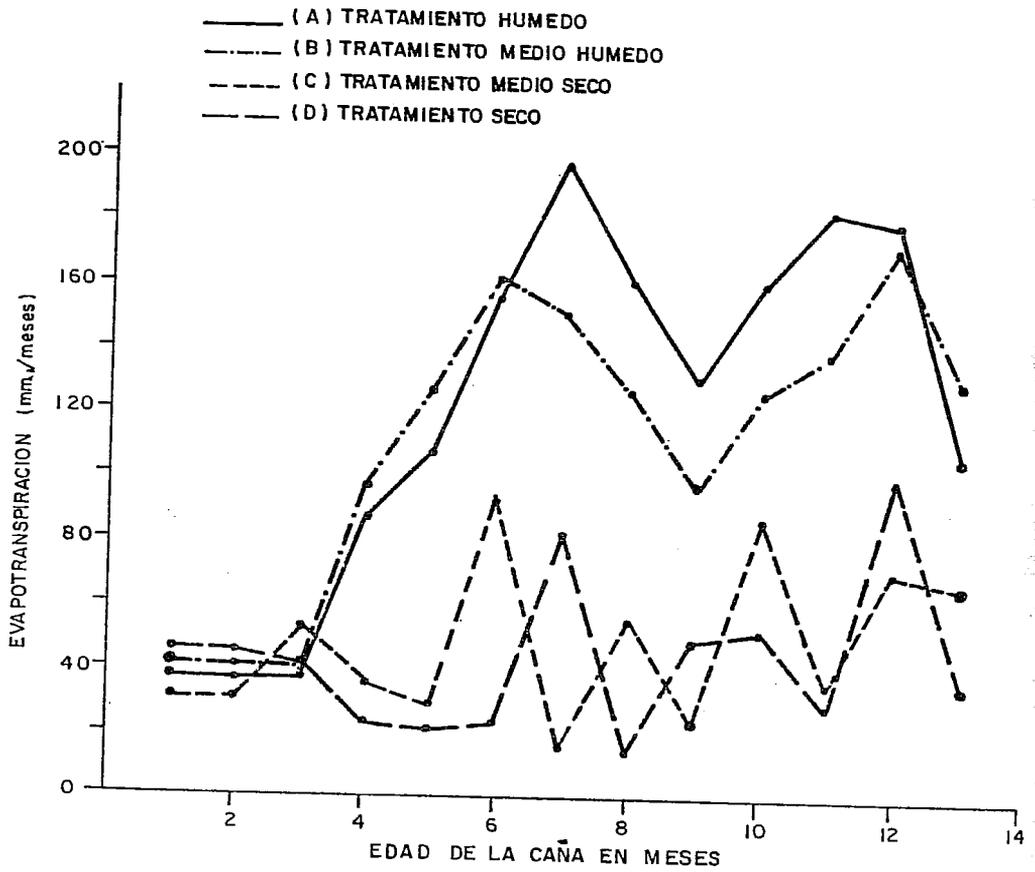


Fig 6. Comportamiento de la evapotranspiración mensual de acuerdo a la edad de la caña en los diferentes tratamientos.

lo. Sin embargo, la evapotranspiración en ninguno de estos dos tratamientos logra alcanzar los valores de los húmedos aún después de un riego, por su menor desarrollo ocasionado por el estrés de humedad.

3.3. Influencia del agua aprovechable del suelo sobre el factor K.

En los primeros tres meses no se presenta diferenciación en el factor K como consecuencia de un régimen de humedad similar en todos los tratamientos (Cuadro 2, Fig. 7). De allí en adelante se empiezan a diferenciar los valores entre los tratamientos húmedos y los secos, de igual forma como ocurrió con la evapotranspiración.

Los valores de K mensuales, para todo el período, en el tratamiento oscilaron entre 0.26 (período inicial de crecimiento) y 1.27 (período de máximo desarrollo). El tratamiento medio húmedo presentó valores entre 0.28 y 1.20.

En el tratamiento medio seco los valores estuvieron entre 0.10 y 0.56. El 0.10 corresponde a Abril 85 (etapa de máximo desarrollo), en el cual la humedad aprovechable del suelo estuvo baja por falta de riego, mientras que 0.56 corresponde a un mes de buena humedad en la etapa de máximo desarrollo. Para el tratamiento seco los valores oscilaron entre 0.10 y 0.79, correspondientes a la etapa de máximo desarrollo, pero con baja y alta humedad respectivamente.

En términos generales, los valores de K durante el período vegetativo dependieron básicamente del valor de la evapotranspiración, la cual a su vez dependió del contenido de agua aprovechable del suelo y de la edad del cultivo.

3.4. Influencia del agua aprovechable del suelo en el desarrollo de la caña.

Cuando aún no hay restricción fuerte de la humedad en ninguno de los tratamientos (hasta el tercer mes de edad), la población y la longitud de los tallos fue similar. A partir del tercer mes, empieza la diferenciación, como consecuencia de los contenidos de agua aprovechable en cada tratamiento.

La población, al final, fue mayor en el tratamiento húmedo (19 tallos) que en el medio húmedo (13.8). Entre la población del tratamiento medio seco (6.5) y seco (6.6) no hubo mayor diferencia, pero si de éstos con los húmedos, como consecuencia del régimen de manejo de la humedad.

En cuanto a la longitud final los valores fueron 323 (húmedo), 313 (medio húmedo), 212 (medio seco) y 209 cm (seco).

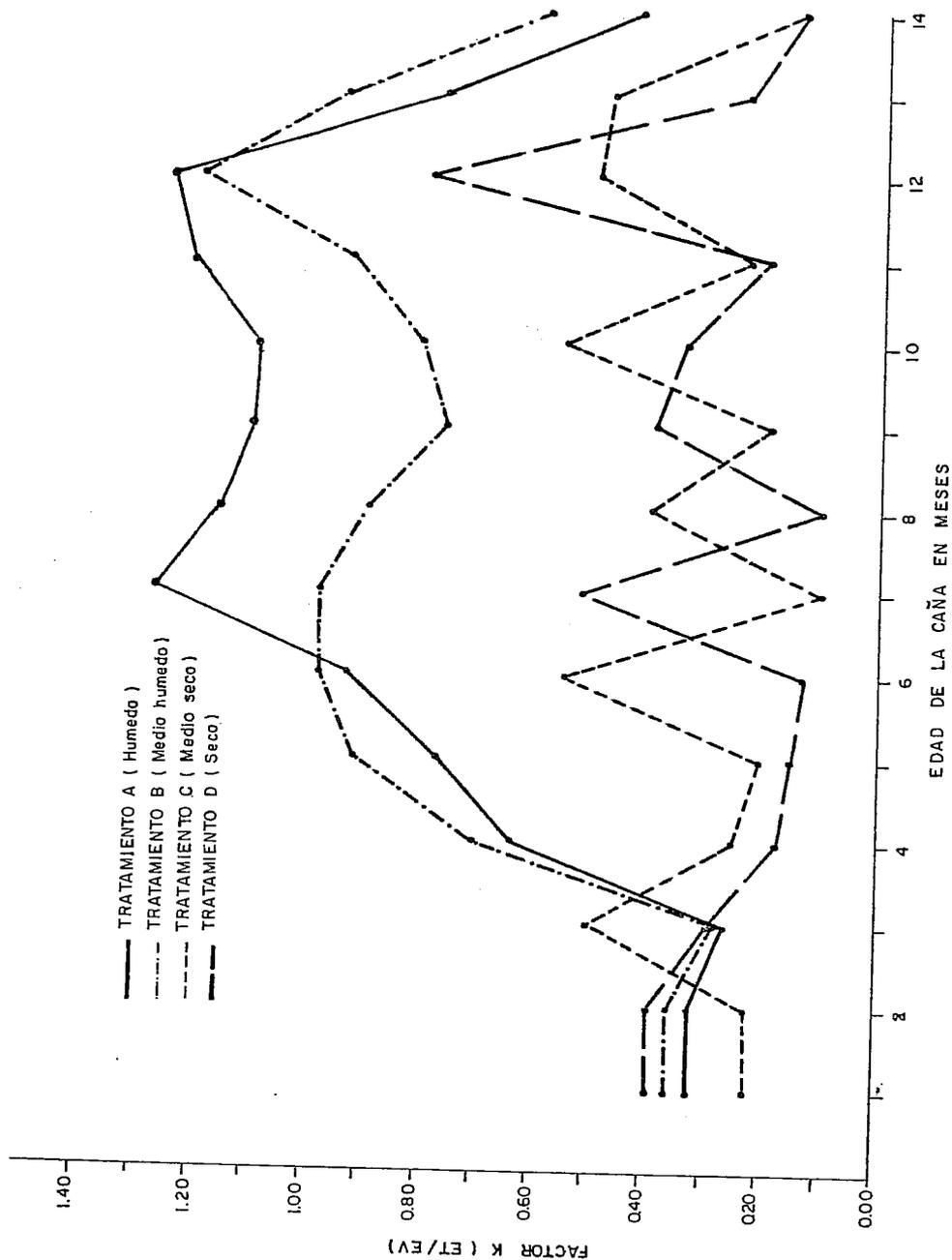


Fig 7. Comportamiento del factor K con respecto a la edad de la caña en los diferentes tratamientos.

En el índice de crecimiento incidió el contenido del agua aprovechable del suelo: en el tratamiento húmedo fue de 5.2 cm/día, en el medio húmedo de 5.1 cm/día, en el medio seco de 3.5 cm/día y en el seco de 0.6 cm/día.

3.5. Influencia del régimen de humedad del suelo sobre la producción de caña.

La información mostró diferencia significativa en la producción de caña para los tratamientos húmedo y medio húmedo, de éstos con los dos secos, más no entre éstos últimos (Cuadro 3). Lo anterior significa que la PR 61-632 respondió favorablemente al régimen del 100 o/o de agua aprovechable, aún por encima del régimen del 80 o/o, significativamente. También muestra que se resiente fuertemente la producción con regímenes de agotamiento por encima del 50 o/o. Total, es una variedad sensible al déficit de humedad en el suelo.

Los valores de producción de azúcar (t/ha) no muestran diferencia significativa entre los dos tratamientos húmedos; tampoco entre los secos; más sí de los primeros con los últimos.

Según los resultados de azúcar recuperable estimada, la PR 61-632 no es buena rendidora, aunque compensa un poco por el alto peso en caña.

3.6. Relación de la producción de caña y azúcar con la evapotranspiración.

El coeficiente de correlación entre producción de caña (C en t/ha) y evapotranspiración (ET en mm) fue de $r = 0.97$, para una expresión de la forma $C = -84.64 + 0.203 ET$.

Entre la producción de azúcar (A) y la evapotranspiración (ET) la expresión fue: $A = -9.736 + 0.0206 \times ET$ ($r = 0.97$).

4. CONCLUSIONES

4.1. Después de agotarse el 50 o/o del agua aprovechable del suelo el proceso evapotranspirativo tiende a disminuir en valores muy pequeños (menores de 1.0 mm/día).

4.2. El factor K tiene un valor similar al informado por CENICAÑA (0.35) en los primeros cuatro meses de desarrollo y se incrementa, incluso por encima de 1.0, cuando la humedad del suelo se mantiene cercana a capacidad de campo en la etapa de máximo desarrollo. Sin embargo, para regímenes de humedad ligeramente inferiores al 80 o/o del agua a-

Cuadro 3

Datos de cosecha relacionados con producción de caña y azúcar

Variable	TRATAMIENTO		
	Húmedo	Medio húmedo	Medio seco
Díámetro de tallos (cm)	3.0 a	3.1 a	2.4 b
Producción de caña (kg/parcela)	48.63 a	33.94 b	7.8 c
Rendimiento de caña (t/ha)	270.2 a	188.6 b	43.3 c
Brix (o/o laboratorio)	14.78 a	14.14 ab	12.0 b
Brix (o/o tercio super.)	14.1 a	10.7 b	7.2 c
Brix (o/o tercio medio)	17.6 a	16.9 a	13.6 ab
Brix (o/o tercio infer.)	18.8 a	17.4 ab	15.8 ab
Azúcar recuperable estimada (o/o)	9.51 a	9.90 a	7.45 a
Rendimiento de azúcar (t/ha)	25.69 a	18.67 a	3.22 b
Fibra (o/o)	12.62 a	12.64 a	12.80 a
Pureza (o/o)	80.06 a	83.33 a	79.51 a
			2.6 b
			7.4 c
			41.1 c
			11.64 b
			8.2 bc
			11.6 b
			14.0 b
			7.15 a
			2.94 b
			11.24 a
			77.47 a

Promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente al nivel 5 o/o.

provechable como valor mínimo (por ejemplo 65 o/o), se espera un K similar al informado por CENICAÑA para la etapa de máximo desarrollo (0.7).

- 4.3. El régimen de humedad del suelo tiene incidencia significativa en la población y en longitud de tallos de la PR 61-632. La variedad responde favorablemente a niveles de humedad del 100 o/o, pero la afectan niveles inferiores al 50 o/o.
- 4.4. La producción de caña de la variedad PR 61-632 responde favorablemente cuando los regimenes de humedad superan el 80 o/o del nivel de humedad. A niveles inferiores al 50 o/o la producción disminuye violentamente.
- 4.5. La variedad PR 61-632 es poco rendidora de azúcar.

5. BIBLIOGRAFIA

1. CLEMENTS, H. S. Sugar cane crop logging and crop control: principles and practices. Honolulu, University of Hawaii, 1980. 520 p.
2. ROBINSON, S. L. Resistance to water flow in the transpiration-stream. Israel Zelith Technical Bulletin n. 774. 1963. p. 42-47.
3. THOMPSON, G. D. Growth analysis. Experiments Station South African Sugar Association. Ann. Rpt., 1965. p. 42-47.
4. TORRES, J. S.; YANG, S. J. El balance hídrico y la programación de los riegos de la caña de azúcar en el Valle del Cauca. Cali, CENICAÑA, 1984. 28 p.
5. YANG, S. J. The role of soil moisture on the growth and yield of sugar cane under the subtropical climate. Taiwan Sugar v. 26, n. 3, p. 84-93. 1979.