

Respuestas Contrastantes del Maíz Tropical ante la Sequía en el Período Vegetativo o Reproductivo¹

I. Vianello*, M.A. Sobrado*

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate and compare the growth response, plant survival and yield of tropical corn growing under drought conditions, during vegetative or reproductive stages. The experiments were carried out in the field with a drought resistant variety (Tuxpeño Selección Sequia Ciclo-8) and a double cross hybrid (Ceniap PB-8) and three treatments were imposed: T-1 (always irrigated), T-2 (non-irrigated during vegetative period) and T-3 (non-irrigated during reproductive period). Water deficits in non-irrigated plants were detected by lowered leaf water potential and by leaf rolling at midday. In non-irrigated plants a reduced leaf area ($T-1 > T-3 > T-2$) and plant weight ($T-1 = T-3 > T-2$) was observed. However, the percentage of dry matter in each compartment remained unchanged. Yield per unit of cultivated land was similarly lowered in T-2 and T-3 in respect to T-1, but the biological effects of drought were in different in both treatments. In T-2 plants, yield decreased with a large reduction in leaf area (source), floral maturity, grain number and weight (sink) and to lesser extent by plant mortality, whereas in T-3 plants there was a large proportion of floral immaturity and asynchrony (sink) and subsequent plant mortality but leaf area, grain number and weight were less affected.

Key words: Tropical corn, drought conditions, yield, flowering, leaf area, source-sink, harvest and partition index.

COMPENDIO

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar y cuantificar la magnitud relativa del efecto del déficit hídrico, durante el período vegetativo o reproductivo, sobre el crecimiento, supervivencia y producción de grano de maíz tropical. Para realizar los experimentos se seleccionaron una variedad resistente a la sequía (Tuxpeño Selección Sequía Ciclo-8) y un híbrido doble (Ceniap PB-8), que crecieron bajo tres tratamientos: T-1 (irrigación diaria), T-2 (sequía durante el período vegetativo) y T-3 (sequía durante el período reproductivo). El déficit hídrico de plantas en sequía (T-2 y T-3) se reflejó en la disminución del potencial hídrico y en el enrollamiento foliar a mediodía. Con la sequía impuesta, disminuyeron el área foliar, de modo que $T-1 > T-3 > T-2$, y el peso por planta, de forma que $T-1 = T-3 > T-2$. Sin embargo, el porcentaje de peso seco total en cada compartimiento no fue afectado por el régimen hídrico impuesto. La productividad por hectárea fue similar en T-2 y T-3 y menor que en T-1, pero el efecto biológico de la sequía fue distinto en T-2 y T-3. En T-2 el efecto marcado de la sequía sobre el área foliar (fuente), el porcentaje de inmadurez floral, el número y peso de granos (sumidero), y, en menor grado, la mortalidad de plantas disminuyeron la productividad. En T-3, en cambio, la disminución en la productividad se relacionó con el incremento del porcentaje de inmadurez y desincronización floral (sumidero) y la subsecuente mortalidad de plantas, y, en menor grado, con efectos sobre el área foliar (fuente) y el número y peso total de granos (sumidero).

Palabras claves: Maíz tropical, sequía, productividad, floración, fuente-sumidero, índice de cosecha y de partición.

INTRODUCCION

El maíz es uno de los cereales de mayor importancia productiva, pues ocupa el segundo lugar entre los cultivos que son fuente de alimento para la población mundial (26, 41). Su fisiología y agronomía han sido extensamente estudiadas y revisadas, fundamentalmente desde el punto de vista de la zona templada (13). La productividad del cultivo de maíz es alta en condiciones de adecuado suministro hídrico, pero disminuye cuando se dan sequías esporádicas que afectan los procesos morfológicos y fisiológicos de la planta (14, 16). El tipo de proceso afectado y la magnitud del efecto dependen de la susceptibilidad del genotipo, de la duración e intensidad de la sequía, y del estadio en que ésta ocurra.

¹ Recibido para publicación el 27 de julio de 1989.

Los autores agradecen al Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (CENIAP) y al Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT), por suministrar las semillas de maíz; al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT), por la ayuda financiera; a la familia Croce, por permitir el uso de la finca maicera; a E. Klein, por la realización de los análisis estadísticos; a J. V. Seguro, por la ayuda en el campo; y, en especial, a los Vianello, Turco, Rezza y Martínez, y sobre todo a Pino, por la solidaridad incondicional.

* Departamento de Biología de Organismos, División de Ciencias Biológicas, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Ven.

Un déficit hídrico durante el desarrollo vegetativo de la planta ocasiona desajustes, tales como disminución del crecimiento foliar (2, 5, 6, 12, 15, 27, 29, 33, 35, 42, 45, 47, 49), del peso seco de la parte aérea (15, 35, 49), y de la altura (5, 6, 12, 13); inducción del crecimiento radical (42); e incremento de la senescencia foliar (4, 5, 32). También puede afectar el desarrollo de las inflorescencias (12, 15). Por otra parte, el déficit hídrico durante el período reproductivo retarda las salidas de los estilos (23) y disminuye el número de granos (19) y el peso por grano (25). Por tanto, la sequía, si ocurre durante el período vegetativo o reproductivo, disminuye la productividad del cultivo de maíz.

Sin embargo, es controversial asegurar cuál es el período que más influye en la disminución de la productividad, ya que una adecuada polinización contribuye a la óptima implantación de óvulos, pero, para garantizar a éstos el suplemento de carbohidratos, es importante que la planta alcance un tamaño adecuado de superficie foliar.

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar y cuantificar el efecto del déficit hídrico, durante el período vegetativo o reproductivo, sobre el crecimiento, la supervivencia y la producción final de grano de maíz tropical. Para realizar el experimento se seleccionaron una variedad resistente a la sequía (Tuxpeño Selección Sequía Ciclo-8) y un híbrido doble con un buen rendimiento en condiciones óptimas (Ceniap PB-8).

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en una finca maicera ubicada a cinco kilómetros de la ciudad de Calabozo (8° 52' N, 67° 18' O; 100 m). El clima de la región se define como tropical lluvioso de sabana (Aw, según Koeppen), con una precipitación promedio anual de 1186 mm con dos picos, uno en junio y otro en agosto (7, 48).

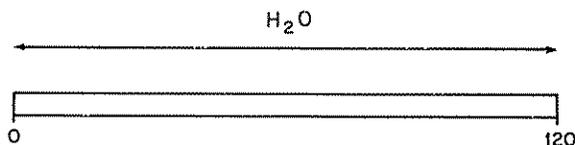
Para la caracterización climática de la época de siembra (enero a mayo de 1987) se usaron los datos climatológicos de radiación, temperaturas, humedad relativa, precipitación y evaporación obtenidos en una estación meteorológica situada a 12 km del área experimental.

Los dos cultivares del maíz (*Zea mays* L.) utilizados para este estudio fueron "Ceniap PB-8" y "Tuxpeño Selección Sequía Ciclo-8". El primero es un híbrido doble de baja altura (226 cm) seleccionado por el Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (CENIAP) de Venezuela. Por su parte, "Tuxpeño Selección Sequía Ciclo-8" es también una variedad de porte bajo (220 cm), con características de resistencia a la sequía durante el período reproductivo, seleccionado por el Centro Internacional para el

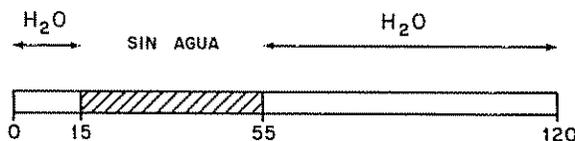
Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT) de México. Ambos cultivares fueron sembrados el 4 de enero en bloques completamente al azar con dos réplicas por cultivar y por tratamiento, lo cual permitió realizar un análisis de variancia de los datos y de comparaciones múltiples entre las medias por medio del método GT2 de Scheffe (40).

En las parcelas de 7.5 m de largo por 6 m de ancho, se hicieron seis surcos y se sembraron de modo que hubiera una densidad de 43 000 plantas por hectárea. Para los experimentos se utilizaron solamente plantas de los cuatro surcos centrales. Los regímenes hídricos, a los que se sometieron las plantas, fueron irrigación diaria (T-1); sequía durante 40 días del período vegetativo (T-2), desde el 19 de enero al 28 de febrero; y sequía durante 43 días del período reproductivo (T-3), desde el 14 de febrero al 29 de marzo (Fig. 1). Para asegurar un buen suplemento nutricional las plantas fueron fertilizadas regularmente con N:P:K (12:24:12) y se controlaron las plagas cuando fue necesario.

T-1: suplemento hídrico diario



T-2: sequía durante el período vegetativo



T-3: sequía durante el período reproductivo



Fig. 1. Representación gráfica de los tres regímenes de irrigación. El día de siembra fue el 4 de enero de 1987 y el de cosecha el 4 de mayo (120 días). Los períodos de sequía fueron desde el 19 de enero hasta el 28 de febrero en T-1 y desde el 14 de febrero al 29 de marzo en T-3.

La cuantificación del estado hídrico de las plantas se realizó por medio de mediciones del potencial hídrico con una cámara de presión de Scholander (34)

siguiendo las recomendaciones metodológicas de Turner (43, 44). Estas mediciones se realizaron al amanecer (cada 15 días) y al mediodía (cada 30 días) en ocho plantas por cultivar por tratamiento.

Durante el ciclo de crecimiento del cultivo se hicieron observaciones fenológicas relacionadas con el proceso de floración. Diecisiete días después de la floración (20 de marzo), se realizó una evaluación exhaustiva del estado de madurez de las inflorescencias masculinas y femeninas en 100 plantas por cultivar, por lo menos, en cada uno de los tres tratamientos.

El área foliar de 16 plantas marcadas por cultivar y por tratamiento fue determinada midiendo el largo (L) y ancho máximo (A) de cada hoja cada 15 días. El área de cada hoja se obtuvo de la relación: $\text{Area} = L \times A \times 0.75$ (18). Con estos resultados se calculó el índice de área foliar (IAF) utilizando la relación: $\text{IAF} = \text{Area}/S$, donde S es la superficie ocupada por la planta. El peso seco por compartimientos se obtuvo cosechando 16 plantas por tratamiento por cultivar en tres ocasiones y a intervalos de 30 días. Al momento de la madurez (4 de mayo), se realizó una cosecha de 56 plantas por tratamiento por cultivar, con el fin de determinar rigurosamente la distribución de materia seca en los componentes del compartimiento mazorca. El peso seco se obtuvo secando el material fresco a 80°C por lo menos durante 48 horas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Condiciones climáticas y desarrollo del déficit hídrico

En la Fig. 2 se muestran las temperaturas máximas y mínimas, la evaporación en el tanque A y la precipitación en Calabozo durante el período de crecimiento del cultivo. Se observa que desde enero hasta finales de marzo no se registraron precipitaciones; por lo tanto, los tratamientos de sequía pudieron cumplirse tal como se habían programado. Durante las primeras etapas del desarrollo de la planta hubo ausencia de precipitaciones y niveles altos de evaporación (240 mm a 360 mm por mes), mientras que al final del período de crecimiento (mayo), la precipitación fue considerable (≈ 280 mm por mes) y la evaporación disminuyó (< 200 mm por mes) (Fig. 2). El promedio de los máximos diarios de humedad relativa fue del 87% y de los mínimos del 41 por ciento. La radiación promedio mensual fue de $17 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$; las temperaturas máximas oscilaron entre 31°C y 38°C y las mínimas entre 20°C y 27°C (Fig. 2). Así que el patrón climático durante el desarrollo de este experimento fue típico de la época de sequía en Calabozo, según la caracterización climática realizada por Walter y Medina (48).

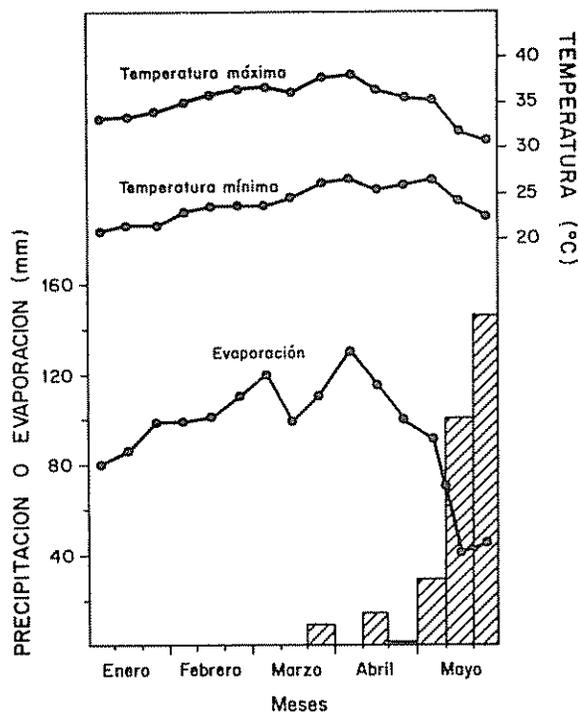


Fig 2. Temperaturas máximas y mínimas, evaporación en el tanque A y precipitación (barras) por décadas durante el período de crecimiento del cultivo de enero a mayo de 1987.

El potencial hídrico al amanecer mostró pocas diferencias entre cultivares y tratamientos. Hasta los 57 días después de la siembra (floración), el potencial hídrico fue de alrededor de -0.6 MPa en los tres tratamientos de ambos cultivares. Después de la floración, el potencial hídrico al amanecer declinó hasta -1.0 MPa, tanto en "Ceniap PB-8" como en "Tuxpeño". Otros autores han encontrado que la disminución del potencial hídrico al amanecer, conforme envejece la planta, es consecuencia de la disminución de la conductividad hidráulica en la raíz por suberización, y en los tallos y las hojas por la cavitación de elementos xilemáticos (24). La similitud observada en el potencial hídrico al amanecer entre plantas irrigadas y en sequía indica que la capacidad de recuperación del sistema no es afectada por la sequía impuesta, pero no refleja el grado de estrés en la planta.

En maíz, el potencial hídrico al mediodía sería un mejor indicador de la progresión del déficit hídrico en la planta (8). Así se observó que el potencial hídrico fue de -0.8 MPa (sequía) y de -0.65 MPa (irrigada) antes de la floración y, durante la floración fue de -1.6 MPa y de -0.9 MPa en planta en los tratamientos de sequía y control, respectivamente. Por otra parte, también se

observó al mediodía un enrollamiento foliar en las plantas del T-2 y T-3 durante los periodos sin riego, pero no en T-1 (controles). El enrollamiento foliar del maíz que creció en condiciones de sequía ha sido correlacionado con el potencial hídrico diurno, la presión de turgor foliar y la conductancia estomática (36).

Area foliar y acumulación de materia seca

El área foliar cambió en el tiempo en forma típica sinusoidal (31) en ambos cultivares y bajo los tres regímenes de irrigación (Fig. 3). La sensibilidad de la expansión foliar del maíz, en condiciones de sequía, ha sido documentada por diferentes autores con maíz de la zona templada y de la tropical (6, 29, 35, 37, 38, 42, 45, 49). Tal observación se aplica al presente estudio: con la sequía (T-2 y T-3) el área foliar por planta y el índice de área foliar disminuyeron en "Ceniap PB-8" y "Tuxpeño", en relación con las plantas controles (Fig. 3). A partir del momento de la floración (\approx 56 días después de la siembra), el área foliar por planta de ambos cultivares no mostró incremento alguno y difirió significativamente ($p < 0.05$) en los tres tratamientos, de forma que el área foliar en T-1 fue mayor que en T-3 y ésta, a su vez, mayor que en T-2.

En relación con el peso seco, se observó una disminución significativa ($p < 0.05$) en las plantas del T-2 en relación con los controles (T-1), a partir del vigesimoséimo día después de la siembra (46). En el caso de las plantas del T-3 no se apreció diferencia en relación con las plantas controles (T-1). Este comportamiento en épocas tempranas del crecimiento afectó el peso seco a la madurez (120 días después de la siembra), el cual en "Ceniap PB-8" fue de 144 g, 83 g y 159 g en T-1, T-2 y T-3, respectivamente. Para esta misma cosecha, los valores en "Tuxpeño" fueron de 188 g, 83 g y 147 g en T-1, T-2 y T-3, respectivamente. Sin embargo, el porcentaje del peso seco total en cada compartimiento de la parte aérea indicó que la distribución de asimilados dentro de la planta no fue substancialmente modificada por el régimen hídrico (Fig. 4).

Se mostró que la sequía impuesta en el período vegetativo (T-2) redujo substancialmente el área foliar y el peso seco de la planta (Figs. 3 y 4). La disminución del crecimiento foliar causaría la disminución del peso seco, pues afectaría la capacidad fotosintética de la planta (38, 39). Por otra parte, posibles deficiencias en el suplemento de nutrimentos, a consecuencia de la sequía, podrían interferir con el crecimiento. De hecho, se ha encontrado que la absorción de nitrógeno se reduce en plantas de maíz sometidas a sequía, por solamente 12 días, durante el crecimiento vegetativo,

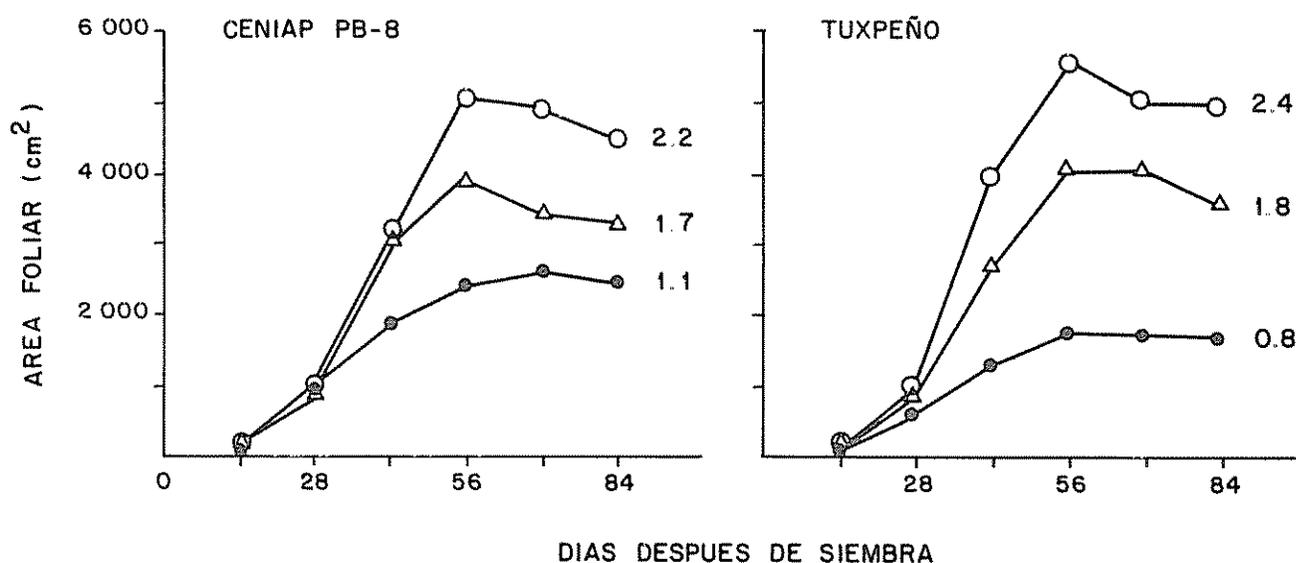


Fig. 3. El área foliar en función del tiempo de dos cultivares de maíz en crecimiento bajo irrigación (O) o sometidos a sequía durante el período vegetativo (●) o reproductivo (Δ). Las diferencias entre tratamientos fueron estadísticamente significativas ($p < 0.05$): a partir del día 42 en T-2 (●) fue menor que T-1 (O) y (Δ) y a partir del día 56, T-1 > T-3 > T-2. El número al lado de cada curva indica el

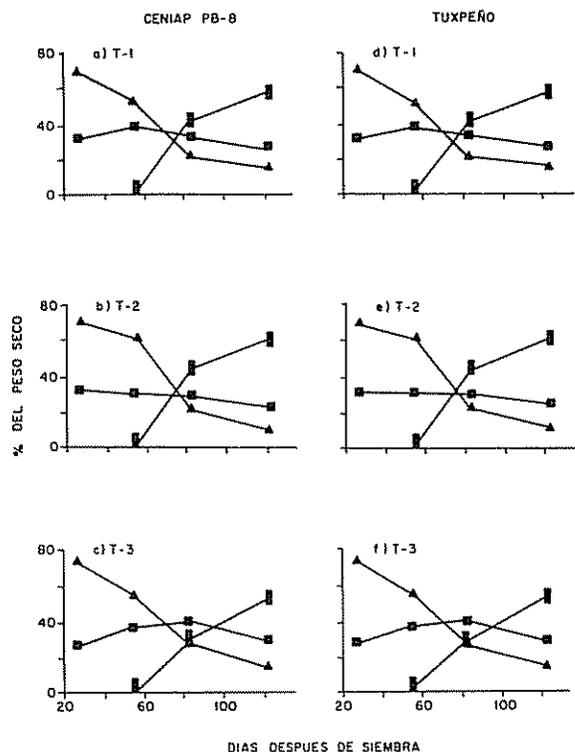


Fig. 4. El porcentaje del peso seco total invertido en tallo (■), hoja (▲) y mazorca (■) en función del tiempo de dos cultivares de maíz: Ceniap PB-8 (a-c) y Tuxpeño (d-f). Las plantas crecieron en condiciones de irrigación (T-1), de sequía durante el período vegetativo (T-2), y durante el período reproductivo (T-3).

por lo que las plantas son más pequeñas (42). Mas aún, un estudio reciente de Wolfe *et al.* (51) mostró claramente una disminución del contenido de nitrógeno por unidad de peso seco en plantas de maíz que crecieron con adecuada fertilización y régimen de sequía.

En las plantas privadas de agua durante el período reproductivo (T-3), el efecto sobre el área foliar y peso seco fue menor en relación con T-1. En este caso, la carencia de agua afectaría más la asimilación de carbono por unidad de área foliar que el área foliar por planta (1, 28, 49). Sin embargo, la probable disminución en la absorción de nutrimentos, debida a la sequía prevaeciente en el suelo, podría ser también un factor que determina la disminución del área foliar. Girardin *et al.* (20) encontraron que la privación de nitrógeno cerca del período reproductivo reduce el área foliar en el maíz en un 25% con respecto a plantas de control.

Evaluación del proceso de maduración floral

En ambos cultivares, la aparición de inflorescencias masculinas y femeninas en un 50% de la población de las plantas controles (T-1), se dio entre los 54 d y 58 d después de la siembra. Los resultados de la evaluación del proceso de maduración de las inflorescencias, realizada a los 75 días después de la siembra, se muestran en el Cuadro 1. En ella se aprecian tres síndromes fundamentales: madurez, inmadurez y desincronización con sus respectivas características.

Cuadro 1. Valores porcentuales de plantas con síndromes de madurez, inmadurez o desincronización floral observados 75 días después de la siembra en dos cultivares de maíz.

Síndrome	"CENIAP PB-8"			"Tuxpeño"		
	T-1	T-2	T-3	T-1	T-2	T-3
Madurez						
Panoja y mazorca madura	83.4	63.6	37.7	89.3	53.2	34.3
Inmadurez	4.1	27.7	36.8	6.6	33.3	41.2
1. Panoja y mazorca inmadura	3.4	17.5	36.8	4.1	28.8	40.2
2. Panoja verde	0.7	10.2	0.0	2.5	4.5	1.0
Desincronización	12.5	8.7	25.5	4.1	13.5	24.5
1. Mazorca y panoja inmadura	0.7	3.6	0.0	0.0	27.0	1.0
2. Ausencia de mazorca y panoja madura	9.7	4.4	23.6	2.5	6.3	20.6
3. Mazorca inmadura y panoja seca	2.1	0.7	1.9	1.2	4.5	2.9
n	145	137	106	122	111	102

Notas: Las plantas crecieron en condiciones de irrigación (T-1), de sequía durante el período vegetativo (T-2) y durante el período reproductivo (T-3). La antesis se dio entre los 54 y 58 días después de la siembra.

Como puede observarse, el valor porcentual de plantas maduras en ambos cultivares decreció con la sequía, siendo las plantas más afectadas las sujetas al T-3 (sequía durante la floración).

En las plantas del T-2 el síndrome más común fue el de inmadurez, pero no hubo una desincronización substancial. Esto podría deberse al efecto en las etapas tempranas del desarrollo de las inflorescencias, del déficit hídrico "per se" (12) o a una deficiencia nutricia, consecuencia de la sequía edáfica (20, 42). Contrariamente, en las plantas del T-3 se observaron ambos síndromes: inmadurez y desincronización (Cuadro 1). La sequía durante el periodo de floración afecta diferentes procesos, tales como la salida de las inflorescencias, el desarrollo de la megáspora, la apertura de las anteras, la elongación de los estilos y el desarrollo del embrión, los que se traducen en inmadurez, asincronía, o ambos, de las inflorescencias (9, 22, 23, 47, 50). En este estudio, la asincronía, tanto en "Ceniap PB-8" como en "Tuxpeño", se debió fundamentalmente a la ausencia de mazorca mientras la panoja estaba madura (Cuadro 1). Esto indica que el déficit hídrico afecta el crecimiento de los estilos, el cual es muy sensible al estrés hídrico (22, 23, 47).

Producción final de grano

El índice de cosecha (proporción de materia seca en granos en relación con el total de la parte aérea) refleja la capacidad del sumidero (granos) para captar asimilados de la fuente. En maíz tropical (30) es relativamente bajo (0.3 a 0.4), lo que podría deberse al bajo número de óvulos por implantarse (15, 21) y a la escasa translocación hacia el grano de asimilados acumulados en el tallo (17). Este índice fue relativa-

mente constante en los diferentes tratamientos en "Ceniap PB-8", pero decreció significativamente ($p < 0.05$) con la sequía en "Tuxpeño" (Cuadro 2). Los valores del índice de cosecha están dentro del rango encontrado en otros cultivares de maíz en Venezuela (37). En cuanto al índice de partición proporción de asimilados producidos después de la floración y que son destinados al grano, disminuyó en los tratamientos de sequía en ambos cultivares (Cuadro 2). La disminución observada de este índice, con respecto a T-1, fue similar en T-2 y T-3. La magnitud del índice de partición es también baja (< 1.0) en cultivares de maíz tropical, lo que indica la escasa capacidad de captación de asimilados por el sumidero (17). La reducción del índice de cosecha en "Tuxpeño" y del índice de partición de ambos cultivares, por efecto de la sequía, indican una limitación adicional a la baja capacidad de captación de asimilados por el sumidero en cultivares de maíz tropical.

El Cuadro 2 también muestra los valores en promedio del número de granos y de peso por grano. En las plantas con sequía durante el periodo vegetativo (T-2), se observó que el número de granos disminuyó significativamente ($P < 0.05$) en relación con las plantas de control (T-1) y en mayor extensión que en las plantas con sequía durante la floración (T-3). Otros trabajos que comparan el efecto de la sequía en ambos periodos sobre el número de grano han demostrado que el período de floración es el más sensible (10, 12, 15, 19). Sin embargo, esos estudios fueron realizados con periodos de sequía de un máximo de cuatro semanas; en este estudio, en cambio, la sequía duró 40 días en el T-2. En cuanto al peso por grano, éste disminuyó ligeramente en T-2 y T-3 de "Tuxpeño", pero no en los de "Ceniap PB-8". Esto concuerda con trabajos previos que indican que el peso de grano sólo disminuye

Cuadro 2. Índices de cosecha y de partición, número de granos por planta y peso por grano en dos cultivares de maíz.

Variable	"CENIAP PB-8"			"Tuxpeño"		
	T-1	T-2	T-3	T-1	T-2	T-3
Índice de cosecha	0.30a	0.27a	0.24a	0.37b	0.27a	0.26a
Índice de partición	0.48	0.35	0.34	0.58	0.33	0.33
Nº de granos	174a	93b	146b	249a	94b	143c
Peso por grano	0.24a	0.24a	0.24a	0.28b	0.23a	0.24a

Notas: Las plantas crecieron en condiciones de irrigación (T-1), de sequía durante el período vegetativo (T-2) y durante el período reproductivo (T-3). Dentro de un mismo cultivar los valores con letras diferentes indican diferencias significativas a un $P < 0.05$.

Cuadro 3. Productividad por unidad de área cultivada, peso de grano por planta y porcentaje de plantas inútiles en dos cultivares de maíz.

Variable	"CENIAP PB-8"			"Tuxpeño"		
	T-1	T-2	T-3	T-1	T-2	T-3
Productividad (kg/ha ⁻¹)	1 167	317	386	1 604	286	368
Grano por planta (g/planta ⁻¹)	43.49	22.64	38.27	69.73	22.65	38.03
Plantas inútiles (%)	37.50	67.7	76.68	46.87	70.84	77.61

Nota: Las plantas crecieron en condiciones de irrigación (T-1), de sequía durante el período vegetativo (T-2), o durante el período reproductivo (T-3)

substancialmente cuando la sequía se prolonga hasta la madurez (32). En nuestro estudio, la sequía no se prolongó hasta la madurez en ninguno de los tratamientos. Por otra parte, una disminución en la cantidad y peso de granos en condiciones de sequía ha sido asociada a un área foliar menor (fuente) (37), lo cual limitaría el suplemento de asimilados disponibles para el llenado de granos, sobre todo en T-2.

La productividad estimada por unidad de área cultivada disminuyó similarmente con la sequía, tanto en el período vegetativo como en el reproductivo, en "Ceniap PB-8" y "Tuxpeño" (Cuadro 3). Paradójicamente, el efecto observado fue igual en "Tuxpeño", seleccionado para resistir sequía durante la floración, y "Ceniap PB-8", seleccionado por un rendimiento alto de grano en condiciones adecuadas de cultivo. Esto podría ser consecuencia de la duración de la sequía en este estudio, la cual fue de unos 40 días en ambos T-2 y T-3.

El peso total de grano por planta disminuyó con la sequía, pero el efecto fue más severo en el T-2 (Cuadro 3). Esto concordaría con la disminución, a consecuencia de la sequía, del número de granos obtenidos en este estudio (Cuadro 2). A diferencia de lo observado con el peso total de grano por planta, el porcentaje de plantas inútiles (muertas y acamadas) fue mayor en el T-3 que el T-2, con respecto al tratamiento control (Cuadro 3). Se esperaba un porcentaje más alto de mortalidad en T-3, con un mayor índice de anomalías reproductivas que en T-2 (Cuadro 1), ya que la carencia de desarrollo de la mazorca se asocia a un incremento de la senescencia de la planta (3, 11).

En conclusión, este estudio ha demostrado que la disminución similar de la productividad del cultivo de maíz tropical, en condiciones de sequía durante el

período vegetativo o reproductivo, se explica por efectos biológicos diferentes, interfiriendo con la capacidad de la fuente y del sumidero, con la supervivencia de la planta o con ambos.

LITERATURA CITADA

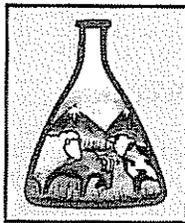
1. ACKERSON, R.C. 1983. Comparative physiology and water relations of two corn hybrids during water stress. *Crop Science* 23:278-283.
2. ADETILOYE, P.O.; OKIGBO, B.N.; EZEDIMA, F.O.C. 1984. Response by maize plant and ear shoot characters to growth factors in southern Nigeria. *Field Crops Research* 9:265-277.
3. ALLISON, J.; WEINMANN, H. 1970. Effect of the absence of the developing grain on carbohydrate content and senescence of maize leaves. *Plant Physiology* 46:435-436.
4. APARICIO-TEJO, P.M.; BOYER, J.S. 1983. Significance of accelerated leaf senescence at low water potentials for water loss and grain yield in maize. *Crop Science* 23:1198-1202.
5. BENNET, J.M.; HAMMOND, L.C. 1983. Grain yields of several corn hybrids in response to water stresses imposed during vegetative growth stages. *Proceedings of Soil and Crop Society of Florida* 42:107-111.
6. BOYER, J.M. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. *Plant Physiology* 46:233-235.
7. BRITO, P.; GILABERT DE BRITO, J. 1984. Caracterización agroclimática de las áreas de desarrollo rural integrado en los ríos Guarico, Tizandos y Orituco del Estado Guarico. Maracay, Ven., Fondo Nacional de Investigaciones Agrícolas Generales. Series CN 6-02. 107 p.

8. CEULEMANS, R.; IMPENS, I.; LAKER, M.C.; VAN ASSCHE, F.M.G.; MOTTRAM, R. 1988. Net CO₂ exchange as a sensitive indicator of plant water status in corn (*Zea mays* L.). *Canadian Journal of Plant Sciences* 68:597-606
9. CLAASSEN, M.M.; SHAW, R.H. 1970a. Water deficit effects on corn. II. Vegetative components. *Agronomy Journal* 62:649-652.
10. CLAASSEN, M.M.; SHAW, R.H. 1970b. Water deficit effects on corn. II. Grain components. *Agronomy Journal* 62:652-655.
11. CRAFTS-BRANDNER, S.J.; BELOW, F.E.; HARPER, J.E.; HAGEMAN, R.H. 1984. Differential senescence of maize hybrids following ear removal. I. Whole plant. *Plant Physiology* 74:360-367.
12. DENMEAD, O.I.; SHAW, R.H. 1960. The effect of soil moisture stress and yield of corn. *Agronomy Journal* 52:272-274.
13. DUNCAN, W.G. 1975. Maize. In *Crop physiology: Some case histories*. L.T. Evans (Ed.) Cambridge University Press p. 23-50.
14. DWYER, L.M.; STEWART, D.W. 1986. Leaf area development in field-grown maize. *Agronomy Journal* 77:334-343.
15. ECK, H.V. 1986. Effects of water deficits on yield, yield components and water use efficiency of irrigated corn. *Agronomy Journal* 78:1035-1040.
16. FISHER, K.S.; JOHNSON, E.C.; EDMEADES, G.O. 1982. Breeding and selection for drought resistance in tropical maize. In *Drought resistance in crop plants with emphasis on rice*. Los Baños, Laguna, Filipinas, International Rice Research Institute. p. 377-399.
17. FISHER, K.S.; PALMER, F.E. 1983. Maize. In *Potential productivity of field crops under different environments*. Los Baños, Laguna, Filipinas. International Rice Research Institute. p. 155-180.
18. FRANCIS, C.A.; RUTGER, L.N.; PALMER, A.F.E. 1969. A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays* L.). *Crop Science* 9:537-539.
19. FREY, N.M. 1981. Dry matter accumulation in kernels of maize. *Crop Science* 21:118-1223.
20. GIRARDIN, P.; TOLLENAAR, M.; DELFOUR, A.; MULDOON, J. 1987. Temporary N starvation in maize (*Zea mays* L.): Effects on development, dry matter accumulation and grain yield. *Agronomie* 7:289-296.
21. GOLDSWORTHY, P.R.; PALMER, F.E.; SPERLING, D.W. 1974. Growth and yield of lowland tropical maize in Mexico. *Journal Agricultural of Science* 83:223-230.
22. HALL, A.J.; VILELLA, F.; TRAPANI, N.; CHIMENTI, C. 1982. The effects of water stress and genotype on the dynamics of pollen-shedding and silk in maize. *Field Crops Research* 5:349-363.
23. HERRERO, M.P.; JOHNSON, R.R. 1981. Drought stress and its effects on maize reproductive systems. *Crop Science* 21:105-110.
24. HSIAO, T.C. 1973. Plant responses to water deficits. *Annual Review of Plant Physiology* 24:519-570.
25. JURGENS, S.K.; JOHNSON, R.R.; BOYER, J.S. 1978. Dry matter production and translocation in maize subjected to drought during grain fill. *Agronomy Journal* 70:678-682.
26. LLANOS-COMPANY, M. 1984. *El maíz: Su cultivo y aprovechamiento*. Madrid, Mundi-Prensa. 150 p.
27. LORENS, G.F.; BENNETT, J.M.; LOGGALES, L.B. 1987. Differences in drought resistance between two corn hybrids. II. Component analysis and growth rates. *Agronomy Journal* 79:808-812.
28. MCPHERSON, H.G.; BOYER, J.S. 1977. Regulation of grain yield by photosynthesis in maize subjected to water deficiency. *Agronomy Journal* 69:714-718.
29. MICHELENA, A.V.; BOYER, J.S. 1982. Complete turgor maintenance at low water potentials in the elongating region on maize leaves. *Plant Physiology* 69:1145-1149.
30. MILBOURN, G.M. 1977. Yield potential of maize in different regions of the world. *Annual of Applied Biology* 87:242-245.
31. MULDOON, J.F.; DAYNARD, T.B.; VAN DUINEN, B.; TOLLENAAR, M. 1984. Comparisons among rates of appearance of leaf tips, collars and leaf area in maize (*Zea mays* L.). *Maydica* 29:109-120.
32. QUATTAR, S.; JONES, R.J.; CROOKSTON, R.K. 1987. Effect of water deficit during grain filling on the pattern of maize kernel growth and development. *Crop Science* 27:726-735.
33. ROSENTHAL, W.D.; ARKIN, G.F.; SHOUSE, P.J.; JORDAN, W.R. 1987. Water deficit effects on transpiration and leaf growth. *Agronomy Journal* 79:1019-1026.
34. SCHOLANDER, P.F.; HAMMEK, H.I.; BRADSTREET, E.D.; HEMMING, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148:339-346.
35. SOBRADO, M.A. 1986. Tissue water relations and leaf growth of tropical corn cultivars under water deficits. *Plant, Cell and Environment* 9:451-457.
36. SOBRADO, M.A. 1987. Leaf rolling: A visual indication of water deficit in corn (*Zea mays* L.). *Maydica* 32:9-18.
37. SOBRADO, M.A. 1990a. Drought responses of tropical corn. I. Leaf area and yield components in the field. *Maydica* 35(3):s.f. (En prensa).
38. SOBRADO, M.A. 1990b. Drought responses of tropical corn. II. Leaf expansion rate and water relations under controlled conditions. *Maydica* 35(3):s.f. (En prensa).
39. SOBRADO, M.A. 1990c. Drought responses of tropical corn. III. Water loss and carbon assimilation. *Maydica* 35(3):s.f. (En prensa).
40. SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. 1983. *Biometria: Principios estadísticos en la investigación biológica*. Madrid, Blume p. 832.

41. TANAKA, A J.; YAMASUCHI, J. 1972. Dry matter production, yield components and grain yield of the maize plant. *Journal of the Faculty of Agriculture of Hokkaido University* 57:71-132.
42. TANQUILIG, V.C.; YAMBAO, E.B.; O'TOOLE, J.C.; DE DATTA, S.K. 1987. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration and nutrient uptake of rice, maize and soybean. *Plant and Soil* 103:155-168.
43. TURNER, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurements of plant water status. *Plant and Soil* 58:339-366.
44. TURNER, N.C. 1988. The use of a pressure chamber in studies of plant water status. *Irrigation Science* 9:289-308.
45. VAN VOLKENBURGH, E.; BOYER, J.S. 1985. Inhibitory effects of water deficits on maize leaf elongation. *Plant Physiology* 77:190-194.
46. VIANELLO, I. 1988. Comportamiento de tres cultivares de maíz (*Zea mays* L.) sometidos a sequía en el campo. Tesis de Lic. Caracas, Ven., Universidad Simón Bolívar, División de Ciencias Biológicas. 99 p.
47. VINCENT, G.B.; WOOLEY, D.G. 1972. Effects of moisture stress at different stages of growth. II. Cytoplasmic male-sterile corn. *Agronomy Journal* 64:599-602.
48. WALTER, H.; MEDINA, E. 1971. Caracterización climática de Venezuela sobre la base de climadiagramas de estaciones particulares. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales* 29:211-240.
49. WESTGATE, M.E.; BOYER, J.S. 1985. Carbohydrate reserves and reproductive development at low leaf water potentials in maize. *Crop Science* 25:762-769.
50. WESTGATE, M.E.; BOYER, J.S. 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Science* 26:951-956.
51. WOLFE, D.W.; HENDERSON, D.W.; HSIAO, T.C.; ALVINO, A. 1988. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. I. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. *Agronomy Journal* 80:859-864.

NEW PUBLICATION

RUMINANT NUTRITION RESEARCH
Methodological Guidelines



RISPAL

US\$10.00

Ruminant Nutrition Research: Methodological Guidelines.
RISPAL/IICA/ALPA. 1992. 354 p. ISBN 92-9039-206-1.

In March 1988 a workshop was held at the Tropical Agricultural Research and Training Center (CATIE), the objective of which was to establish the basis for the standardization of methodological guidelines of ruminant nutrition research. This book presents all the documents prepared as basis for the working group discussions and all the recommendations of these groups. This book provides ideas and criteria which will facilitate the work of those scientists involved in ruminant nutrition and permit the establishment of more solid and uniform procedures for research and analysis.

Ver lista de publicaciones disponibles para la venta y boleta de solicitud en la última sección de la revista Turrialba.