

CAPÍTULO 3

Fisiología de la Yuca (*Manihot esculenta* Crantz)

María Sara Mejía de Tafur*

Introducción

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz), planta originaria de América tropical, es un arbusto leñoso perenne, que pertenece a la familia Euphorbiaceae.

Se cree que fue domesticada en Brasil, donde existe el mayor número de especies *Manihot* y la mayor diversidad dentro de las diferentes especies; sin embargo, existe poca evidencia arqueológica que confirme este hecho (Montaldo, 1985; Cock, 1984).

Esta especie es de gran importancia socioeconómica para los agricultores y consumidores de pocos recursos económicos de países tropicales, ya que es un producto básico en su dieta alimenticia y ocupa el cuarto lugar en importancia como fuente de energía, después del arroz, el maíz y la caña de azúcar (Cock, 1984).

El cultivo de la yuca se extiende por muchas regiones tropicales, en especial en zonas con suelos de mala calidad, ácidos e infértiles; se adapta bien a diversos regímenes pluviométricos y a períodos prolongados de sequía, ya que se obtuvieron altos rendimientos con precipitaciones menores de 1000 mm/año y temperaturas de aproximadamente 28 °C (Cock y Rosas, 1975; Cock y Howeler, 1978; Howeler y Cadavid L., 1983).

Es una de las especies más eficientes en cuanto a la producción de almidón, pues obtiene rendimientos de 80 t/ha por año bajo condiciones experimentales, siendo su potencial similar al de la caña de azúcar, el maíz, el sorgo y el arroz. Ahora bien, bajo condiciones subóptimas, su potencial de rendimiento sobresale cuando se la compara con otros cultivos; por eso se dice que esta especie tiene la habilidad de producir donde otros cultivos no crecerían.

Al sembrar las estacas de yuca brotan de la parte superior una o más yemas; las raíces salen, por lo general, del callo que se forma en la base de la estaca (raíces basales) y de los nudos inferiores (raíces nodales). Durante las primeras semanas, la planta forma raíces fibrosas; 2 ó 3 meses después de la siembra, algunas de las raíces fibrosas comienzan a acumular almidón, proceso que continúa hasta la cosecha final (Cock y Rosas, 1975).

Durante los 3 primeros meses del cultivo, la formación de hojas tiene prioridad sobre la formación de las raíces de almacenamiento; después, la planta continúa formando hojas, a la vez que almacena almidón en las raíces. El Índice de Área Foliar (IAF) aumenta entre los 3 y 6 meses de edad del cultivo y luego baja gradualmente a medida que las hojas más viejas caen, debido a la falta de luz en la parte basal del dosel y a que la tasa de formación de hojas disminuye (Rosas et al., 1976; Cock y El-Sharkawy, 1988). Sin embargo, el IAF varía de acuerdo con el cultivar y con la disponibilidad de agua (Mejía de Tafur et al., 1997b).

* Ingeniera agrónoma, M.Sc., Suelos y Aguas, Profesora asociada, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Valle del Cauca. E-mail: msmejia@unal.edu.co

Fotosíntesis

El crecimiento y el desarrollo de las plantas es ocasionado por la interacción de procesos fisiológicos que hacen posible la diferenciación celular; estos son procesos ligados a la fotosíntesis y a la respiración; por ello, la producción de una planta está íntimamente relacionada con el proceso de la fotosíntesis en la cual interactúan factores ambientales como la humedad, la temperatura y la intensidad de luz.

La planta ajusta su eficiencia fotosintética a la máxima intensidad de luz, a la temperatura, al estado fisiológico, a factores genéticos, a la apertura y al cierre de los estomas, los cuales, a su vez, están determinados por el estado hídrico de la planta y por la humedad relativa del aire.

La fotosíntesis neta o asimilación neta de CO₂ es la resultante de la diferencia entre la tasa de fijación de CO₂ integral o total y la pérdida de CO₂ por fotorespiración.

Las especies C₄ poseen las más altas tasas de fotosíntesis; sus valores oscilan entre 32 y 47 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹; las especies C₃ tienen menores tasas de fotosíntesis y sus valores se encuentran entre 18 y 32 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹ (El-Sharkawy et al., 1984; El-Sharkawy y Cock, 1987). Sin embargo, las hojas de la yuca tienen una capacidad fotosintética relativamente alta (El-Sharkawy y Cock, 1990; El-Sharkawy et al., 1992); se han encontrado tasas de fotosíntesis de 35 a 45 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹ en el campo, durante épocas lluviosas con intensidades de luz mayores de 1000 mmol m⁻² s⁻¹ de radiación fotosintéticamente activa (Figura 3-1). Además, la yuca presenta diferencias varietales en su capacidad fotosintética, como se puede observar en el Cuadro 3-1 (Mejía de Tafur et al., 1992 a 1997a).

Estudios realizados (El-Sharkawy y Cock, 1987a; 1990; Cock et al., 1987) indican que la yuca tiene un ciclo fotosintético intermedio entre las plantas C₃ y C₄, sin la típica anatomía C₄ Crantz. Sin embargo, ésta cuenta con características morfológicas y fisiológicas que favorecen su supervivencia en ambientes adversos, como son su capacidad de reciclar porciones considerables de CO₂ respiratorio en presencia de la luz, la presencia de la mayoría de los estomas en el envés de sus hojas, entre

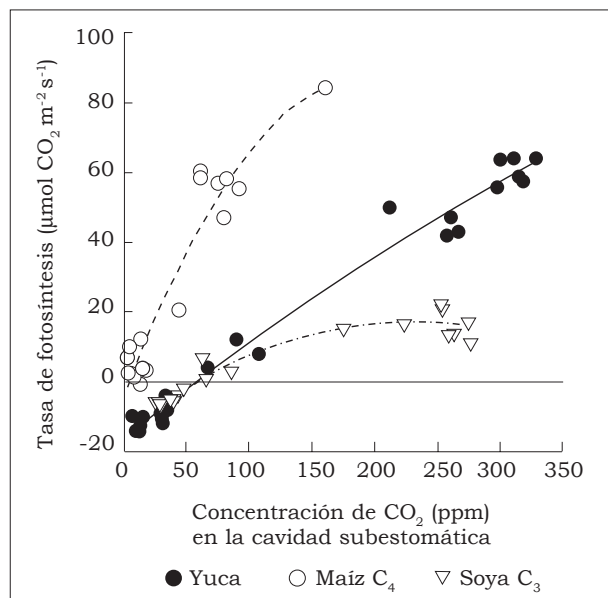


Figura 3-1. Fotosíntesis de la yuca en respuesta al CO₂ de la cavidad subestomática, comparada con la de otras especies C₃ y C₄.

FUENTE: Mejía de Tafur y El-Sharkawy (sin publicar).

Cuadro 3-1. Fotosíntesis de 15 cultivares de yuca del Banco de Germoplasma del CIAT (promedios).

Cultivar	Tasa fot. (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)
CG 927-12	26.74
CG 996-6	36.71
CM 3456-3	33.10
CM 4145-4	32.96
CM 4575-1	34.27
CM 4617-1	31.90
CM 4701-1	32.72
CM 4711-2	32.15
CM 4716-1	32.51
CM 4864-1	36.01
CM 507-37	29.02
CM 523-7	31.31
MBRA 191	36.60
MCOL 1468	30.13
MCOL 1684	32.29
Promedio	32.56

FUENTE: Modificado de Mejía de Tafur et al., 1992.

otros (Indira, 1989; Cerqueira, 1989; El-Sharkawy y Cock, 1990).

Las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrollan las hojas son importantes en el

potencial fotosintético de la yuca, ya que influyen en el desarrollo de las hojas. Es así como las bajas temperaturas ocasionan un desarrollo foliar lento en yuca (Irikura et al., 1979) y la tasa de fotosíntesis de las hojas se reduce (El-Sharkawy et al., 1990; 1992a; 1992b; El-Sharkawy y Cock, 1990). Estudios realizados en el CIAT en 1983 demostraron que el rango óptimo de temperatura en las hojas de yuca es de 25 a 35 °C (Figura 3-2).

Aunque la cantidad de agua usada directamente en las reacciones de fotosíntesis es pequeña, comparada con aquella transpirada o almacenada por las plantas, la condición hídrica de la planta influye notablemente en el crecimiento de éstas y en su producción.

La yuca es un cultivo altamente productivo en climas húmedos y calientes (Ramanujam, 1990; El-Sharkawy et al., 1990); bajo estas condiciones, presenta una alta capacidad fotosintética (El-Sharkawy, 1993). Sin embargo, es importante resaltar que este cultivo se puede producir bien en condiciones climáticas y edáficas adversas (Edwards y Kang, 1978; Connor et al., 1981).

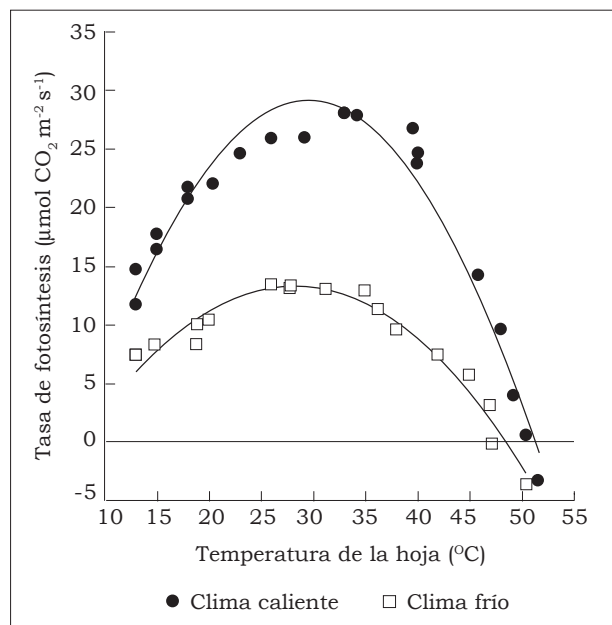


Figura 3-2. Efecto de la temperatura de la hoja sobre la tasa de fotosíntesis en yuca.

FUENTE: Adaptada de El-Sharkawy et al., 1993.

Este cultivo se puede describir como conservador de agua en comparación con otros; sin embargo, hay variedades que se adaptan mejor que otras a la sequía (El-Sharkawy y Cock, 1987b; Mejía de Tafur et al., 1997a; 1997b).

Un mecanismo de defensa de la planta al déficit de agua es reducir su pérdida por unidad de área; esto lo logra incrementando la resistencia al flujo de agua en el trayecto entre el suelo y la atmósfera, reduciendo la conductancia estomática, lo que disminuye también la pérdida de agua por transpiración; es aquí donde los estomas juegan un papel importante en la economía del agua, pues a diferencia de la pérdida de hojas, el cierre estomático no incluye el sacrificio de las reservas ya asimiladas y elaboradas como potencial para la producción de nuevo follaje (Connor y Palta, 1981).

De la apertura y cierre de los estomas depende el intercambio de gases entre la planta y el ambiente; es lógico pensar, entonces, que el intercambio de CO₂ también se verá afectado por el cierre de los estomas y que las tasas de fotosíntesis serán menores.

La yuca es muy sensible a la humedad relativa del aire. Ensayos realizados en el CIAT demostraron que los estomas se cierran cuando el aire está seco, y que la absorción de CO₂ y la pérdida de agua disminuye cuando el potencial hídrico disminuye, aun cuando el suelo tenga un buen contenido de agua; esto conduciría a una disminución progresiva de la conductancia estomática desde las horas de la mañana hasta el mediodía, con la consecuente disminución de la tasa de fotosíntesis, como se observa en la Figura 3-3 (El-Sharkawy y Cock, 1984; El-Sharkawy et al., 1984; Cock et al., 1985; El-Sharkawy, 1990; Mejía de Tafur et al., 1997a).

Los estomas de la yuca son muy sensibles a los cambios de humedad relativa del aire (El-Sharkawy y Cock, 1984; Cock et al., 1985), aun en hojas turgentes. Este mecanismo se puede atribuir a una deshidratación localizada del aparato estomático a través de la evaporación peristomatal, así como a la alta resistencia al movimiento del agua en fase líquida entre la epidermis y el mesófilo (El-Sharkawy et al., 1985; El-Sharkawy, 1990).

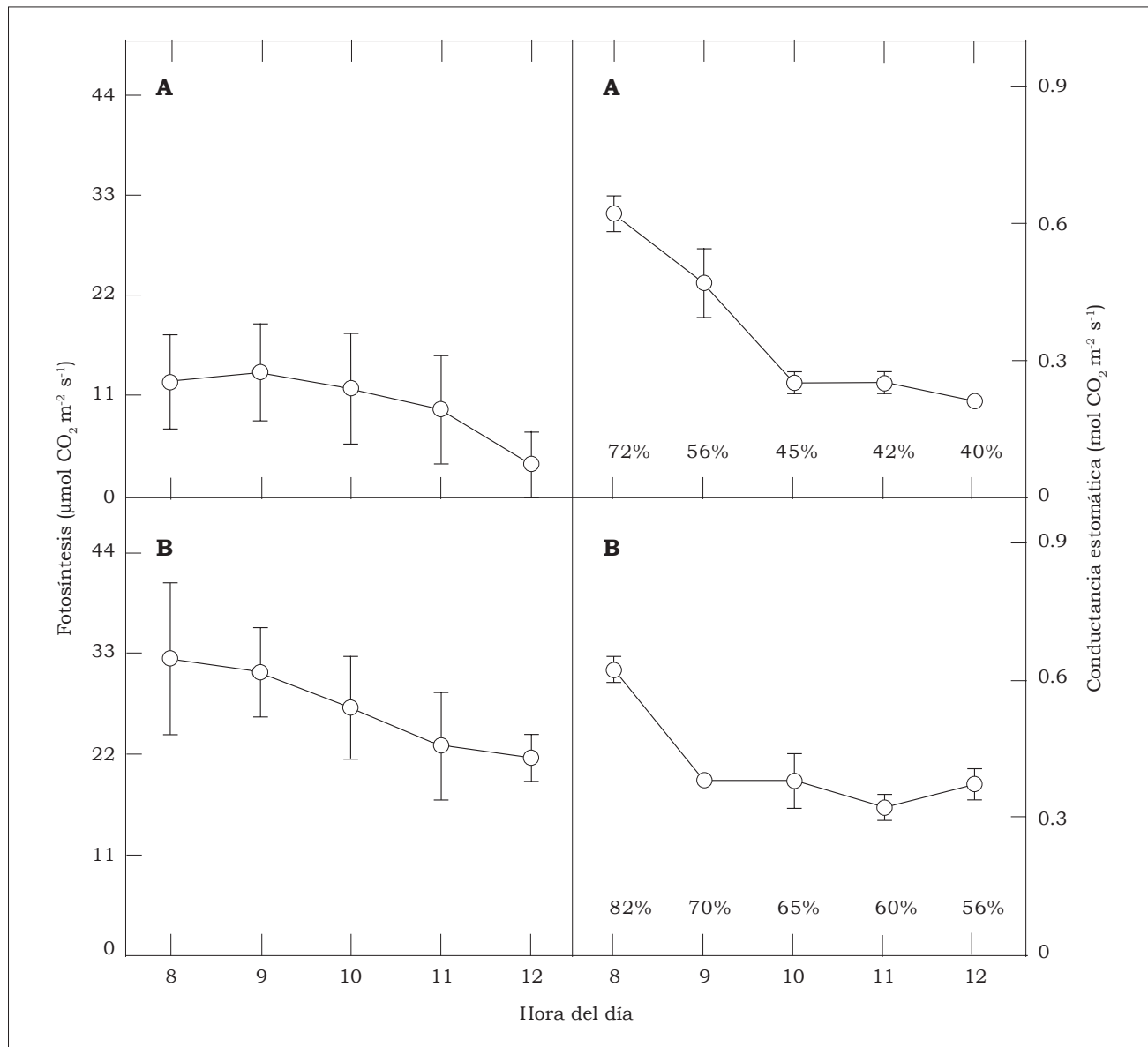


Figura 3-3. Fotosíntesis y conductancia estomática de la yuca a lo largo del día en dos ambientes de la Costa Norte de Colombia: (A) Riohacha; (B) Santo Tomás (seco).

FUENTE: Adaptado de Mejía de Tafur et al., 1997a.

La yuca cierra sus estomas cuando el aire está seco, lo cual es favorable especialmente cuando este cultivo es sometido a largos períodos de sequía, ya que al disminuir la transpiración el agua del suelo puede ser consumida lentamente y maximizar la eficiencia en el uso del agua (El-Sharkawy y Cock, 1984).

La luz es un factor indispensable en el crecimiento de las plantas. De toda la radiación que proviene del sol, los vegetales sólo utilizan el espectro entre las longitudes de onda de 350 a

725 nanómetros, lo que representa 45% ó 49% del total de la radiación recibida por la planta, llamada radiación fotosintética útil.

Las plantas presentan dos puntos conocidos como punto de compensación y punto de saturación de luz. El punto de compensación es la intensidad de luz mínima que la planta requiere para que los fotosintatos producidos sólo alcancen para ser utilizados en el proceso de la respiración, sin que resulten sobrantes para el crecimiento; por tanto, la tasa de fotosíntesis

neta es igual a cero. El punto de saturación es la intensidad de luz máxima que la planta puede recibir para saturar su aparato fotosintético.

Trabajos realizados en el CIAT demostraron que el punto de saturación de luz en la yuca, cuando crece en ambientes húmedos, es mayor

de $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (El-Sharkawy et al., 1993); sin embargo, cuando se presentan condiciones de estrés hídrico, el punto de saturación de luz es menor (Figura 3-4).

En 1987, Cock et al. encontraron que la yuca posee un sistema enzimático que le permite fijar

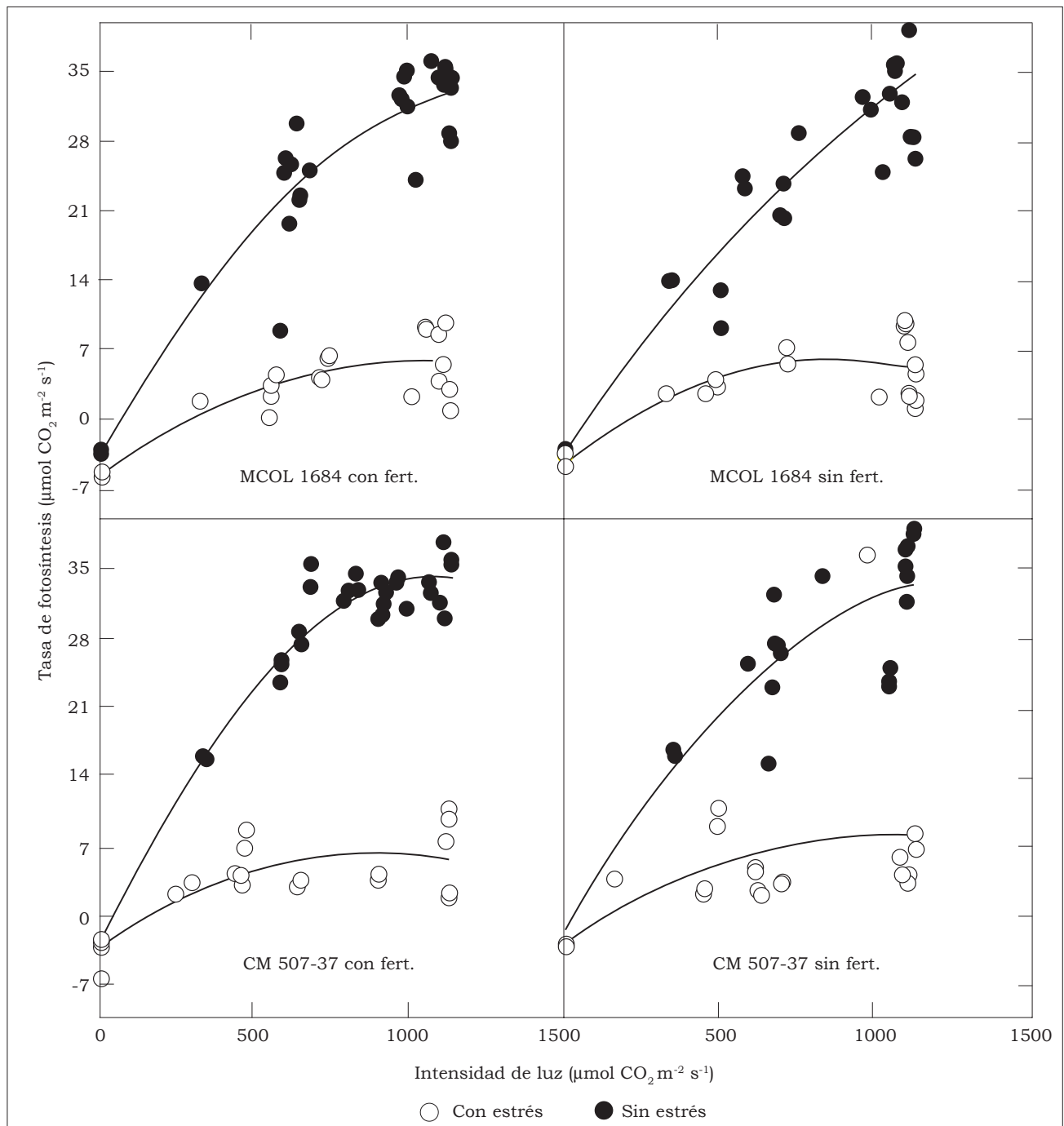


Figura 3-4. Efecto del estrés hídrico sobre la tasa de fotosíntesis en dos cultivares de yuca.

FUENTE: Adaptada de Mejía de Tafur, 1994.

el CO₂ por los dos sistemas de fotosíntesis C₃ y C₄; además, sugieren que a bajas temperaturas domina el ciclo C₃ y a altas se aumenta la actividad de la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa; por lo tanto, domina el ciclo C₄.

Según El-Sharkawy et al. (1984), todas la especies reducen su tasa de fotosíntesis cuando son sometidas a estrés de agua, ya que el déficit

de presión de vapor (DPV) entre la hoja y el aire aumenta, pero esta disminución varía según la especie (Figura 3-5).

El-Sharkawy et al. (1992a; 1992b) encontraron una disminución significativa en la absorción de CO₂ y en la conductancia estomática en plantas con más de 40 días de estrés, cuando la humedad relativa del aire era baja.

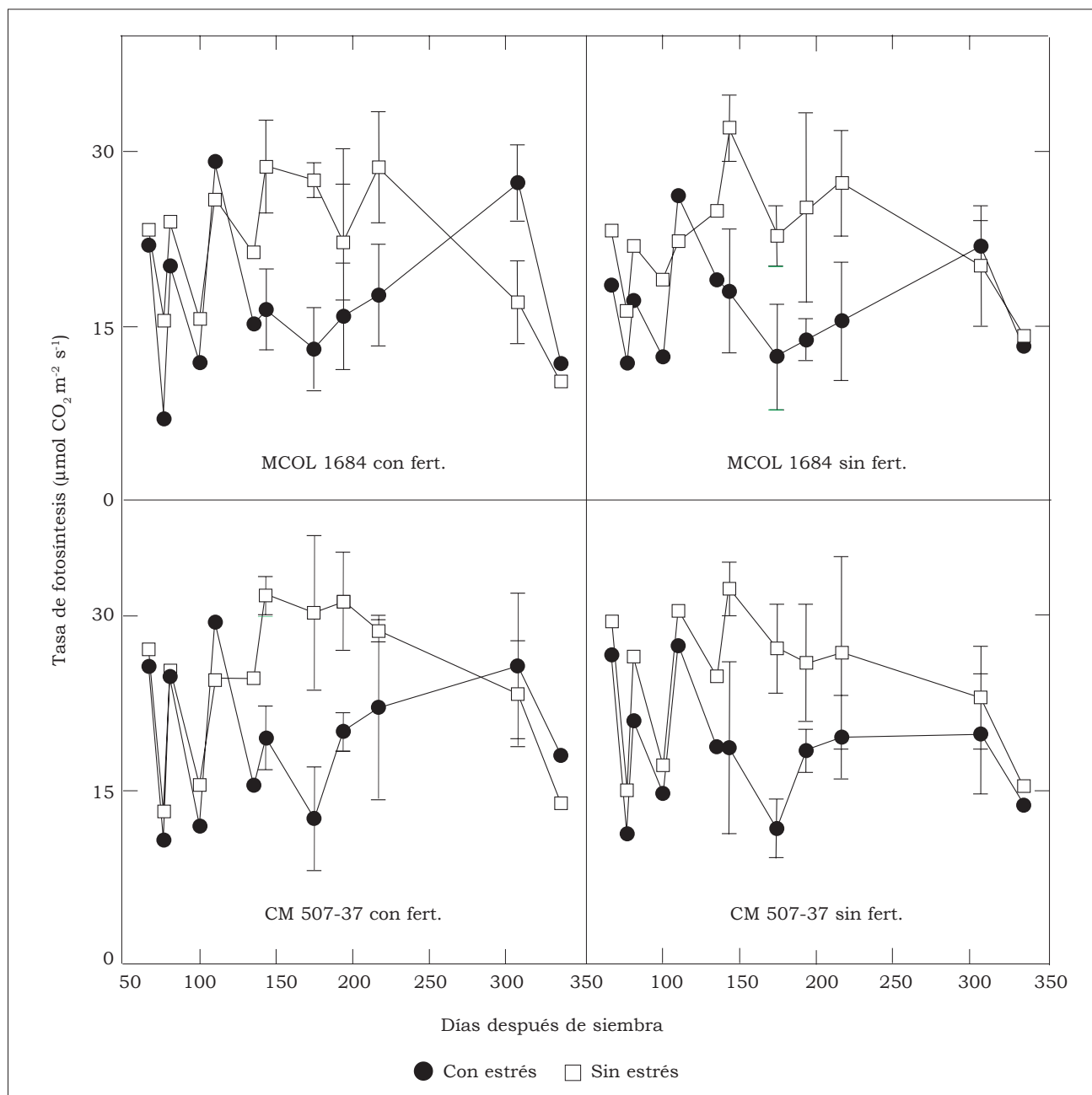


Figura 3-5. Respuesta fotosintética de la yuca al estrés hídrico.

FUENTE: Adaptada de Mejía de Tafur, 1994.

La yuca presenta una mayor reducción en la tasa de fotosíntesis cuando el DPV aumenta en comparación con muchas otras especies C_3 ; esto coincide con una disminución en la conductancia del vapor de agua y en la tasa de transpiración (El-Sharkawy et al., 1984).

También tiene la yuca una alta eficiencia en el uso de agua comparada con otras especies, lo que contribuye a que tenga una ventaja comparativa en condiciones de sequía.

El-Sharkawy et al. (1984) encontraron en frijol (C_3) valores de $3.9 \text{ mmol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$; en yuca, valores de $5.1 \text{ mmol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$, y en sorgo (C_4), $7.1 \text{ mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$.

Otro aspecto para ser considerado es el profundo sistema radical con que cuenta la planta. Connor et al. (1981) encontraron raíces fibrosas a 2 m de profundidad, característica que le permite tomar agua de estratos más profundos del suelo, donde es más fácil encontrarla en época de sequía.

La productividad de la yuca se determina por la tasa de producción de biomasa seca y por su eficiencia en acumular fotosintatos en las raíces tuberosas; por lo tanto, la capacidad fotosintética de la planta es de gran importancia en su productividad (Ramanujam, 1990).

Estudios realizados por El-Sharkawy et al. (1990) mostraron correlaciones positivas y significativas entre la producción de raíces, la biomasa seca y la tasa de fotosíntesis en grupos de cultivares de yuca, bajo condiciones semiáridas y secas (Figura 3-6).

Índice de Área Foliar (IAF)

El IAF es el parámetro de estructura del dosel más usado. Se define como el área total de hojas de la planta por el área ocupada en el suelo por la planta, y es independiente de la orientación de las hojas.

El desarrollo y crecimiento de la planta están determinados por la relación IAF y por la producción y distribución de biomasa total a la cosecha final. A medida que el IAF aumenta, la tasa de rendimiento tiende a incrementarse hasta que ésta alcanza un nivel de 4 a 5, lo que corresponde a una intercepción de luz del 95% (Cock y El-Sharkawy, 1988).

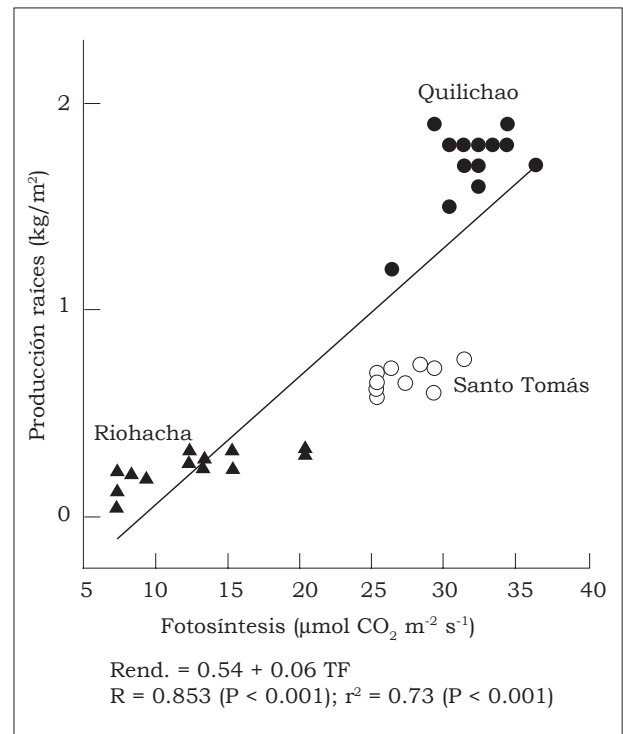


Figura 3-6. Relación entre la producción de raíces secas y la tasa de fotosíntesis en tres grupos de diferentes cultivares de yuca, en tres localidades colombianas con diferentes condiciones ambientales: Riohacha, semiárido; Santo Tomás, seco; y Santander de Quilichao, húmedo.

FUENTE: Mejía de Tafur y El-Sharkawy (datos sin publicar).

En la yuca, el IAF máximo oscila entre 4 y 8, dependiendo del cultivar y de las condiciones atmosféricas y edáficas que prevalecen durante el crecimiento del cultivo (El-Sharkawy y Cock, 1987b).

Durante un período de sequía, el cultivo reduce su IAF (Figura 3-7), produce menos hojas y éstas son más pequeñas, y aumenta la retención de las hojas ya expandidas (Rosas et al., 1976; Cock, 1979; Connor y Cock, 1981; Mejía de Tafur, 1994; Mejía de Tafur et al., 1997b).

La reducción del área foliar durante un período de sequía puede considerarse como un mecanismo de la planta para disminuir la pérdida de agua por transpiración (Connor et al., 1981; Connor y Palta, 1981; El-Sharkawy y Cock, 1987b). Sin embargo, una reducción del IAF durante un período prolongado de sequía

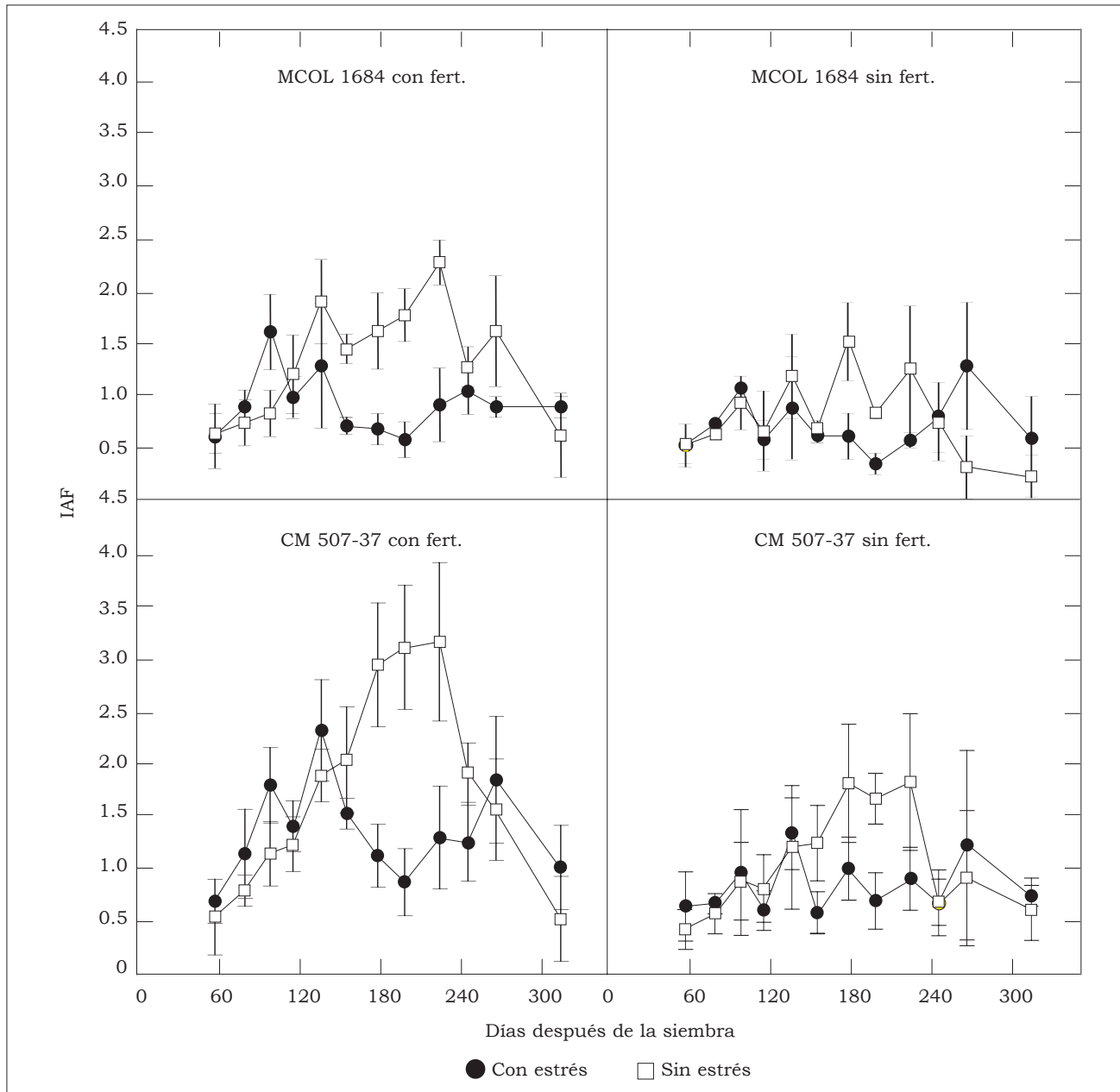


Figura 3-7. Efecto del estrés hídrico sobre el Índice de Area Foliar (IAF) en yuca; datos tomados a lo largo del ciclo del cultivo; el estrés del agua fue inducido 120 días después.

FUENTE: Adaptada de Mejía de Tafur et al., 1994.

también reduce la tasa de crecimiento del cultivo, siendo esa disminución más pronunciada en la parte aérea de la planta (El-Sharkawy y Cock, 1987b; Mejía de Tafur, 1994; Mejía de Tafur et al., 1997b).

Cuando la sequía termina, la planta comienza a recuperarse con rapidez y produce nuevas hojas (rebrotos) a expensas del almidón

de las raíces y tallos; el IAF llega a superar al de las plantas que no habían sufrido estrés hídrico, y después de un periodo corto de recuperación, el IAF comienza a decrecer de nuevo; entonces, la tasa de acumulación de almidones en las raíces aumenta (El-Sharkawy y Cock, 1987b).

De todas maneras, en condiciones de estrés lo importante no es una alta tasa de

crecimiento, sino el uso más eficiente del agua disponible para lograr mantener el cultivo, ya que las plantas activas requieren un buen contenido interno de agua.

Potencial Hídrico de las Hojas

El potencial hídrico de la hoja se define como la energía potencial por unidad de masa de agua, con respecto al agua pura cuyo potencial es cero.

Estudios realizados por Connor y Palta (1981), Cock et al. (1985), El-Sharkawy et al. (1992b) y Mejía de Tafur (1994) demostraron que el potencial hídrico de las hojas de yuca sufre poca variación con el estrés hídrico (Figura 3-8).

La capacidad de la yuca para mantener su potencial se debe, en parte, al cierre de los estomas y, por ende, a una considerable reducción de la conductancia estomática, lo cual impide la pérdida de agua (El-Sharkawy et al., 1992a; 1992b).

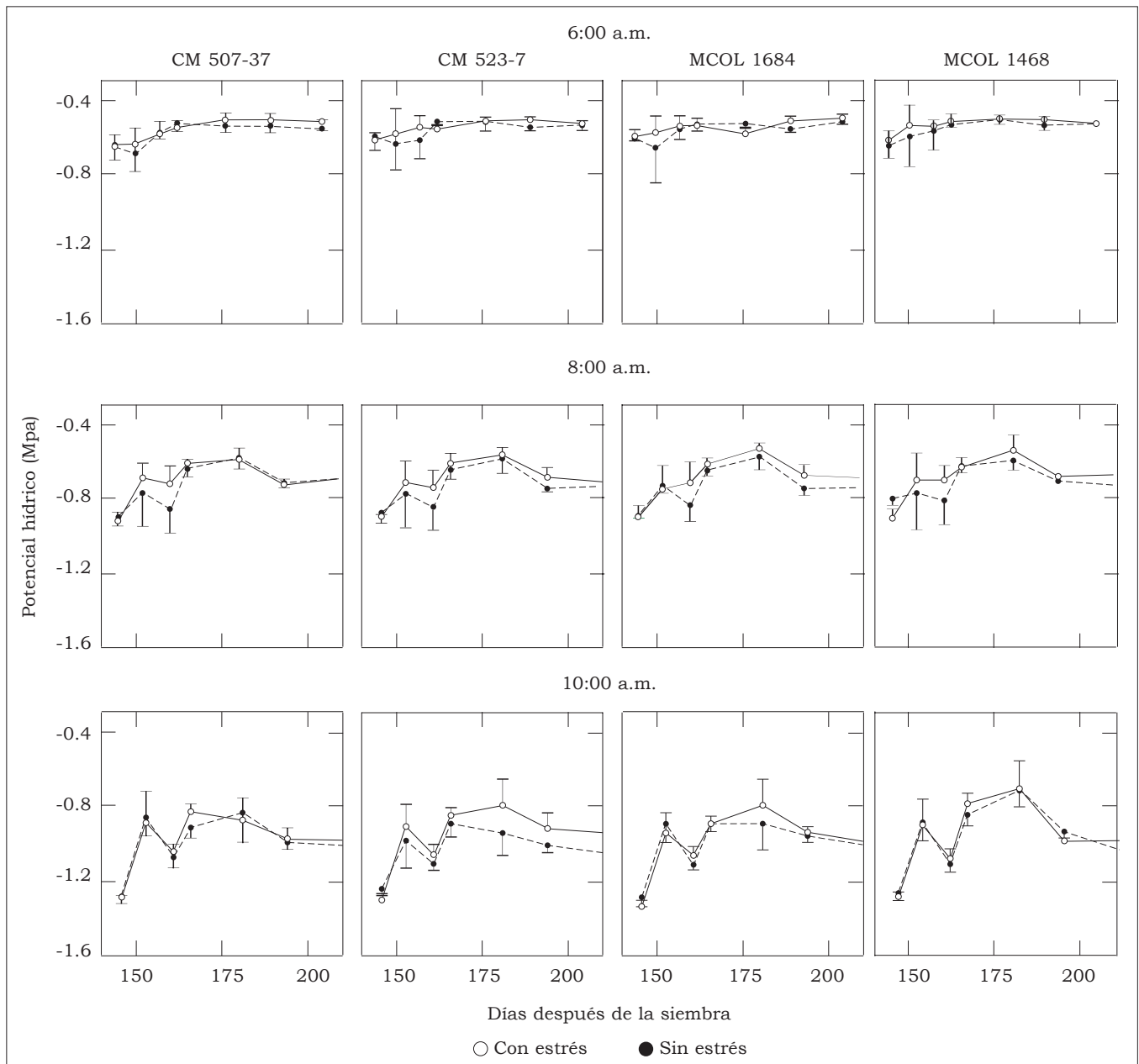


Figura 3-8. Efecto del déficit de agua sobre el potencial hídrico de cuatro variedades de yuca a diferentes horas del día.

Rendimiento

Bajo las mismas condiciones climáticas, el rendimiento de las plantas que sufren estrés no presenta diferencias significativas con respecto al de aquellas que no sufren periodos de sequía; es así como en la variedad MCOL 1684 la producción de las raíces secas en plantas sin estrés fue de 14 t/ha, mientras que en las que sufrieron estrés alcanzaron una producción de 13 t/ha.

La variedad CM 507-37 alcanza rendimientos de 19 t/ha sin estrés y de 16 t/ha con estrés en las raíces secas (El-Sharkawy y Cock, 1987b; El-Sharkawy, 1992; Mejía de Tafur et al., 1994; El-Sharkawy et al., 1998). El Cuadro 3-2 indica los resultados obtenidos en un ensayo de estrés en Santander de Quilichao, Cauca, Colombia.

Cuadro 3-2. Rendimiento de raíces frescas en dos variedades de yuca sometidas a estrés hídrico.

Variedad	Estrés	Rendimiento (t/ha) 12 meses después de la siembra
CM 507-37	Con	23.25 a
CM 507-37	Sin	20.09 a
MCOL 1684	Con	22.34 a
MCOL 1684	Sin	20.21 a

FUENTE: Adaptado de Mejía de Tafur et al., 1994.

Bibliografía

Cerqueira YM. 1989. Efeito da deficiência de agua na anatomia foliar de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Tesis (Maestría). Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas (Bahia), Brasil. 113 p.

Cock JH; Rosas SC. 1975. Ecophysiology of cassava. Paper presented to internal Symposium on Ecophysiology of Tropical Crops, Manaus, Brasil. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 14 p.

Cock JH; Howeler RH. 1978. The ability of cassava to grow on poor soils. En: Jung GA (ed.). Crop tolerance to suboptimal land conditions. ASA Special Publication no. 32. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. p. 145-154.

Cock JH. 1979. The ideal cassava plant of maximum yield. *Crop Science* 19:271-279.

Cock JH. 1984. Cassava: a basic energy source in the tropics. *Science* 218(4574):755-762.

Cock JH; Porto MCM; El-Sharkawy MA. 1985. Water use efficiency of cassava. 3. Influence of air humidity and water stress on gas exchange of field-grown cassava. *Crop Science* 25:256-272.

Cock JH; Riaño N; El-Sharkawy MA; López F; Bastidas G. 1987. C3-C4 intermediate photosynthetic characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). 2. Initial products of (14)CO₂ fixation. *Photosynthesis Research* 12:237-241.

Cock JH; El-Sharkawy MA. 1988. Physiological characteristics for cassava selection. *Experimental Agriculture* 24(4):443-448.

Connor DJ; Cock JH; Parra GE. 1981. Response of cassava to water shortage. 1. Growth and yield. *Field Crops Research* 4(3):181-200.

Connor DJ; Cock JH. 1981. Response of cassava to water shortage. 2. Canopy dynamics. *Field Crops Research* 4(4):285-296.

Connor DJ; Palta J. 1981. Response of cassava to water shortage. 3. Stomatal control of plant water status. *Field Crops Research* 4(4):297-311.

Edwards DJ; Kang BT. 1978. Tolerance of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) to high soil acidity. *Field Crops Research* 1:337-346.

El-Sharkawy MA; Cock JH. 1984. Water use efficiency of cassava. 1. Effects of air humidity and water stress on stomatal conductance and gas exchange. *Crop Science* 24(3):497-502.

El-Sharkawy MA; Cock JH; Held A. 1984. Water use efficiency of cassava. 2. Differing sensitivity of stomata to air humidity in cassava and other warm-climate species. *Crop Science* 24(3):503-507.

El-Sharkawy MA; Cock JH; Hernández A del P. 1985. Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide range of warm climate species. *Photosynthesis Research* 7:137-149.

- El-Sharkawy MA; Cock JH. 1987a. C3-C4 intermediate photosynthetic characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). 1. Gas exchange. *Photosynthesis Research* 12:219-235.
- El-Sharkawy MA; Cock JH. 1987b. Response of cassava to water stress. *Plant and Soil* 100:345-360.
- El-Sharkawy MA. 1990. Effect of humidity and wind on leaf conductance of field grown cassava. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 2(2):17-22.
- El-Sharkawy MA; Cock JH. 1990. Photosynthesis of cassava (*Manihot esculenta*). *Experimental Agriculture* 26(3):325-340.
- El-Sharkawy MA; Cock JH; Lynam JK.; Hernández A del P; Cadavid L LF. 1990. Relationships between biomass, root-yield and single-leaf photosynthesis in field-grown cassava. *Field Crops Research* 25(3-4):183-201.
- El-Sharkawy MA.; Hernández A del P; Hershey C. 1992a. Yield stability of cassava during prolonged mid-season water stress. *Experimental Agriculture* 28(2):165-174.
- El-Sharkawy MA; Mejía de Tafur S; Cadavid L. 1992b. Potential photosynthesis of cassava as affected by growth conditions. *Crop Science* 32(6):1336-1342.
- El-Sharkawy MA; Mejía de Tafur S; Cadavid L LF. 1993. Photosynthesis of cassava and its relation to crop productivity. First International Scientific Meeting Cassava Biotechnology Network, Cartagena de Indias, Colombia, 1992. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 314-324.
- El-Sharkawy MA. 1993. Drought tolerant cassava for Africa, Asia and Latin America: breeding projects work to stabilize productivity without increasing pressures on limited natural resources. *BioScience (USA)* 43(7):441-452.
- El-Sharkawy MA; Cadavid L LF; Mejía de Tafur S; Caicedo JA. 1998. Genotypic differences in productivity and nutrient uptake and use efficiency of cassava as influenced by prolonged water stress. *Acta Agronómica (Colombia)* 48(1-2):9-22.
- Howeler RH; Cadavid L LF. 1983. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during 12 months growth cycle of cassava. *Field Crop Research* 7:325-340.
- Indira P. 1989. Cassava—a crop which suits for drylands farming. Central Tuber Crops Research Institute, Trivandrum, Kerala, India. 1963-1998:59-60.
- Irikura Y; Cock JH; Kawano K. 1979. The physiological basis of genotype temperature interaction in cassava. *Field Crops Research* 2:227-239.
- Mejía de Tafur S; Cadavid L LF; El-Sharkawy MA. 1992. Respuesta de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) a la aplicación de fósforo en un ultisol de Santander de Quilichao. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)* 22(1):95-97.
- Mejía de Tafur S. 1994. Respuesta fisiológica de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) al estrés prolongado de agua y a la fertilización. Tesis (Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. 105 p.
- Mejía de Tafur S; Cadavid L LF; El-Sharkawy MA. 1994. Respuesta de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) al déficit de agua y fertilización. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)* 24:23-26.
- Mejía de Tafur S; El-Sharkawy MA; Calle F. 1997a. Photosynthesis and yield performance of cassava in seasonally dry and semiarid environments. *Photosynthetica (Checoslovaquia)* 33(2):249-257.
- Mejía de Tafur S; El-Sharkawy MA; Cadavid L LF. 1997b. Response of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) to water stress and fertilization. *Photosynthetica (Checoslovaquia)* 33(10):1-10.
- Montaldo A. 1985. La yuca o mandioca: cultivo, industrialización, aspectos económicos, empleo en la alimentación animal, mejoramiento. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica. 386 p.
- Porto M; Cock JH; De Cadena G; Parra GE; Hernández A del P. 1989. Acúmulo e distribuição de matéria seca em mandioca submetida a deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 25(5):557-565.

Ramanujam T. 1990. Effect of moisture stress on photosynthesis and productivity of cassava. *Photosynthetica* 24(2):217-224.

Rosas C; Cock JH; Sandoval G. 1976. Leaf roll in cassava. *Experimental Agriculture* 12:395-400.

Spear SN; Edwards DG; Asher CJ. 1978.

Effects of nutrient supply on critical nutrient concentration in cassava plants. En: Ferguson AR; Bioloski RL; Ferguson IB (eds.). *International Colloquium on plant analysis and fertilizer problems*. 8th., Auchland, Nueva Zelanda. DSIR Information 134:499-506.