

# Respuesta Fotosintética de algunas Variedades de Maíz, Frijol y Café

Anundo Polanía , Gerardo Pérez

Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia

Saúl Camacho

Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, Bogotá

## SUMARIO

Con el objeto de caracterizar fotosintéticamente algunas variedades de maíz, frijol y café, se estudió el comportamiento de la tasa de fotosíntesis neta, de la transpiración y de los diferentes tipos de resistencia foliar a la difusión y fijación de  $\text{CO}_2$  en la hoja, frente a las variables temperatura, intensidad de luz y concentración de  $\text{CO}_2$  en el aire. La variedad de maíz ICA H 507 presentó un comportamiento típico de plantas C4 con altas tasas de fotosíntesis neta, insaturación de luz y baja fotorespiración. El frijol Diacol Andino presentó bajas tasas de fotosíntesis, alta fotorespiración y saturación de luz a bajas intensidades, características propias de plantas C3. Las dos variedades de café, Típica y Caturra, presentaron bajas tasas de fotosíntesis, valores de fotorespiración cercanos a los del frijol, comportamiento típico de plantas C3; no lo es su respuesta a la intensidad de luz, ya que se saturaron a intensidades más altas que las presentadas por plantas C3 reconocidas. Estas variedades presentaron tasas de fotosíntesis mayores que las observadas por otros autores en plantas de café de más edad. Los resultados obtenidos brindan información útil acerca del comportamiento ecofisiológico de estas variedades que por primera vez han sido caracterizadas fotosintéticamente.

## ABSTRACT

Variations in net photosynthesis rate, transpiration and leaf resistance to  $\text{CO}_2$  diffusion and fixation were studied in maize, bean and coffee varieties. Temperature, light intensity and concentration of  $\text{CO}_2$  in the air were changed during the experiments. The ICA H 507 variety behaved as a C4 plant with high net photosynthesis rates, light insaturation and low photorespiration. The Diacol Andino bean presented low photosynthesis rates, high photorespiration and light saturation to low intensities which are characteristics of C3 plants. The Típica and Caturra coffee varieties showed low net photosynthesis rates but these were higher than those reported by other authors for older coffee plants. The photorespiration values were similar to those obtained for the bean variety. Although these characteristics are typical of C3 plants, the coffee varieties reached saturation at higher intensities. The overall results give useful information about the ecophysiological behavior of the maize, bean and coffee varieties studied which have been photosynthetically characterized by the first time.

## INTRODUCCION

El estudio de la fijación fotosintética de  $\text{CO}_2$  ha permitido la clasificación de las plantas en tres grupos (C3, C4 y CAM) con características fisiológicas y agronómicas bien definidas (1). Las plantas C3 son llamadas así porque el primer producto estable de fotosíntesis es el ácido 3-fosfoglicérico del cual se originan hexosas en el ciclo de Calvin; estas plantas crecen bien a temperaturas entre 15 y 25°C, aprovechan poco eficientemente la energía lumínica y la humedad y son llamadas plantas de baja eficiencia fotosintética por presentar altos valores de fotorrespiración, fenómeno que consiste en oxidar parcialmente los primeros productos de fotosíntesis liberando  $\text{CO}_2$ , lo cual disminuye la rata de fotosíntesis neta.

Las plantas C4 presentan un ciclo adicional al ciclo de Calvin que ha recibido el nombre de ciclo de los ácidos dicarboxílicos o ciclo de Hatch y Slack. Su función es la de recibir el  $\text{CO}_2$  atmosférico, fijarlo en un compuesto de cuatro carbonos y cederlo al ciclo de Calvin luego de un transporte del mesofilo al cilindro interior. Por esta vía la planta reduce su fotorrespiración ya que por la disposición anatómica de los tejidos en la hoja, el  $\text{CO}_2$  que se libera por fotorrespiración, es nuevamente fijado, aprovechando la baja presión de oxígeno en el tejido de mesofilo (2). Estas características hacen que las plantas C4 tengan ratas de fotosíntesis neta notoriamente más altas que las C3 (Tabla 1) y en consecuencia su productividad es mayor. Además las plantas C4 crecen muy bien entre 28 y 35°C y utilizan eficientemente la energía lumínica y la humedad presentando altas ratas de fotosíntesis a máximas intensidades de luz.

Las plantas de tipo CAM (Metabolismo de Acido Crasulaceo) tienen cerrados sus estomas durante el día y los abren durante la noche permitiendo la entrada del  $\text{CO}_2$  que se fija como ácidos orgánicos de cuatro átomos de carbono; estos ácidos durante el día son llevados a carbohidratos vía ciclo de Calvin (1). El proceso involucra cambios marcados de pH durante los períodos de iluminación y oscuridad. En la Tabla 1 se presenta una comparación de los tres tipos de plantas respecto a sus características anatómicas y fisiológicas.

La existencia de diferencias en productividad dentro de una misma especie implica la selección cuidadosa de las mejores variedades basada en estudios fisiológicos de los parámetros que inciden en una mayor productividad y mejor calidad de los productos cosechables (3, 4, 5). Estas cualidades dependen básicamente del comportamiento fotosintético de la planta el cual está controlado por dos tipos de factores:

- extrínsecos o ambientales tales como temperatura, intensidad de luz, humedad relativa del aire, agua en el suelo, y concentración de oxígeno y dióxido de carbono en el aire.
- intrínsecos, de los cuales los más importantes son (6):
  - a) La resistencia ofrecida por la capa de aire en reposo que rodea la hoja, a

la difusión del  $\text{CO}_2$  y vapor de agua; se conoce como resistencia del aire ( $r_a$ ) y es inversamente proporcional a la velocidad del viento y a la rata de fotosíntesis neta.

b) Resistencia ofrecida a la difusión del  $\text{CO}_2$  y del vapor de agua a través de los estomas; esta resistencia estomatal ( $r_e$ ) es inversamente proporcional a la apertura estomatal y a la rata de fotosíntesis neta. El cierre o apertura de los estomas está controlado principalmente por el gradiente de humedad entre la hoja y el ambiente así como por la humedad del suelo y tiene como función evitar una excesiva transpiración.

c) Resistencias ofrecidas por diferentes lugares internos de la hoja a la difusión y fijación del  $\text{CO}_2$ ; se conoce como resistencia de mesofilo ( $r_m$ ).

En este trabajo nos propusimos caracterizar fotosintéticamente plantas de gran interés económico para lo cual se escogieron las variedades de maíz ICA H507, frijol Diacol Andino y café típica y caturra, que no han sido estudiadas anteriormente desde el punto de vista fotosintético.

## MATERIALES Y METODOS

Las plantas fueron cultivadas en materas de tamaño mediano empleando una mezcla de suelo esterilizado y balanceado nutricionalmente. Las plantas de maíz (var. ICA H507) y frijol (var. Diacol Andino), fueron cultivadas en un invernadero del Centro Experimental de Tibaitatá, del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Las plántulas de café (var. caturra y var. típica) fueron cedidas por el Departamento de fitofisiología del Centro Experimental de Chinchiná, Caldas, Cenicafé. Todas las plantas se mantuvieron en el invernadero en las siguientes condiciones: temperatura diurna, 20 a 27°C; temperatura nocturna, 15 a 17°C; intensidad de luz, no controlada; riego adecuado y adición cada 3-4 semanas de 50-70 ml de solución nutritiva Hoagland (7). En las determinaciones se usaron plantas de maíz de 60-75 días, frijol de 30-45 días y café de 6 a 7 meses. Se seleccionaron especímenes con un buen desarrollo foliar, eliminando las hojas más jóvenes y las más viejas.

Para los ensayos con plantas de tipo CAM se emplearon las especies *Aloe vulgaris* (Liliaceae) y *Echeverría* spp (Crasulácea). El equipo empleado fue diseñado y construido por Polanía et al (8) y con él se analizó el comportamiento de la rata de fotosíntesis neta ( $F_n$ ) y transpiración ( $T$ ) frente a las variables temperatura, intensidad de luz y concentración de  $\text{CO}_2$  en el aire. Las fórmulas empleadas en los cálculos y el análisis estadístico están descritos en (8). Las medidas de pH se hicieron con extractos de hojas maceradas con agua caliente.

## RESULTADOS

Se obtuvieron curvas representativas para los comportamientos de fotosíntesis neta ( $F_n$ ), transpiración ( $T$ ), resistencia de estomas ( $r_e$ ) y resistencia de mesofilo ( $r_m$ ) de las variedades de maíz, frijol y café ensayadas frente a las variables temperatura, intensidad de luz y

concentración de  $\text{CO}_2$  en el aire. El método estadístico aplicado, un análisis de regresión múltiple, permitió obtener en cada caso la ecuación de la curva que mejor representaba la tendencia de los datos obtenidos (entre 20 y 25 datos por curva), así como también los valores de las pruebas de distribución F y t además del coeficiente de determinación  $R^2$ . Los valores obtenidos con estas medidas superaron los mínimos tabulados en literatura para probabilidades mayores de 0.95 (Coeficiente de confiabilidad).

### Efecto de la Temperatura sobre Fotosíntesis neta ( $F_n$ ) y Temperatura (T)

La figura 1 muestra la respuesta fotosintética de las tres especies en función de la temperatura. El maíz presentó altas tasas de fotosíntesis neta entre 15 y 35°C; el valor máximo, típico de plantas C4 (Tabla 1), se obtuvo a una temperatura mayor (31°C) que para el café y frijol; temperaturas inferiores a esta no favorecen un buen desempeño, y a temperaturas superiores,  $F_n$  permanece casi constante.

El frijol presentó un valor máximo de  $F_n$  (34  $\text{mgCO}_2 / \text{dm}^2 / \text{h}$ ), entre 20 y 22°C, comportamiento típico de una planta C3. Es bastante notoria la forma como incide en la productividad de esta variedad, expresada como  $F_n$ , un aumento de temperatura: un clima con temperaturas superiores a 22-23°C, provocaría un menor rendimiento.

Las dos variedades de café presentaron valores disímiles (a intensidades de luz de 10.000 bujfas-ple en aire normal). Los máximos valores de  $F_n$  (11 - 12  $\text{mg CO}_2 / \text{dm}^2 / \text{h}$  para la variedad caturra se observaron entre 22.5 - 24.5°C mientras que la variedad típica presentó valores máximos (16.5 a 18  $\text{mg CO}_2 / \text{dm}^2 / \text{h}$ ) a temperaturas entre 21.5 y 23.5°C. Estos datos son más altos que los citados en literatura (9, 10) en la que se reporta el empleo de plantas de más de 18 meses. Según Tió (11) los valores de  $F_n$  del café (variedad Borbón) parecen variar con la edad de las plantas, observándose a una temperatura dada menores valores de  $F_n$  para plantas más viejas. Esto es explicable porque en los primeros meses de formación de una planta existe una alta demanda de fotosintatos destinados a cubrir el rápido crecimiento (12).

El efecto de la temperatura sobre la resistencia de mesofilo ( $r_m$ ) describe los fenómenos que acompañan la fijación de  $\text{CO}_2$  desde su entrada por los estomas. El maíz presentó los menores valores de  $r_m$  (figura 2) que decrecen al aumentar la temperatura; su comportamiento muestra cómo la difusión interna del  $\text{CO}_2$  y los procesos de carboxilación son favorecidos por los aumentos de temperatura.

La magnitud de la resistencia estomatal ( $r_e$ ) tiene cierta influencia sobre la tasa de fotosíntesis neta ya que a través de los estomas se realiza el intercambio de gases. El maíz presentó (Fig. 3) los menores valores de  $r_e$ , entre 17 y 34°C (mostrando gran apertura de estomas), concordando con los mayores valores de  $F_n$  observados en la figura 1. El frijol mostró valores de  $r_e$  similares al maíz a temperaturas entre 15 y 19°C; por encima de ellos  $r_e$  aumentó ocasionando una marcada disminución de  $F_n$ . Las dos variedades de café presentaron los más altos valores de  $r_e$ . El comportamiento de esta resistencia no tuvo la misma tendencia en las

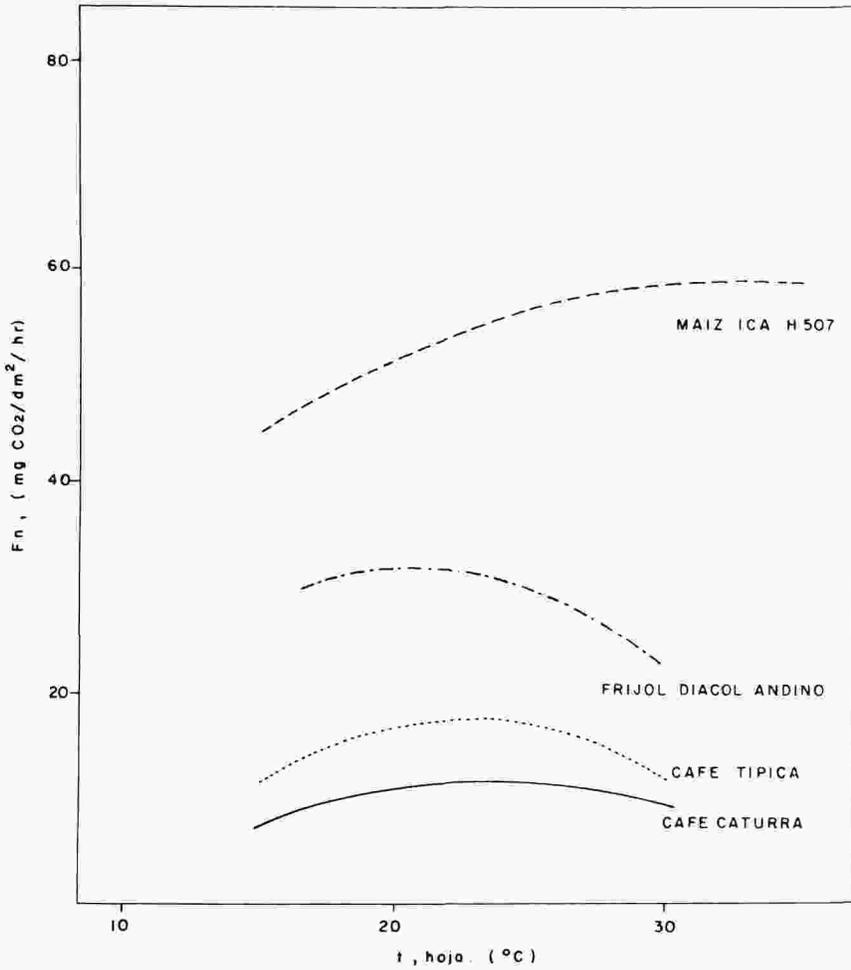


FIGURA 1. Respuesta fotosintética de las especies maíz, frijol y café a variaciones en temperatura. Condiciones experimentales: Intensidad de luz: Maíz = 11500 b-p; Frijol = 9000-11000 b-p; Café Típica y Caturra = 9500 b-p. Concentración de CO<sub>2</sub> para las tres especies, 300 ppm.

TABLA 1

CARACTERÍSTICAS QUE DISTINGUEN LOS TRES GRUPOS FOTOSINTÉTICOS DE PLANTAS

Características	Plantas C-3	Plantas C-4	Plantas CAM
Primeros productos de fotosíntesis	ácido 3-fosfoglicérico.	ácidos málico, aspártico y oxalacético.	ácidos málico, oxálico.
Anatomía de la hoja.	Tejidos de mesofilo, empalizada y haz envolvente tienen mismo tipo de cloroplastos	Dos tejidos rodeando los vasos vasculares: la vaina y el mesofilo, formando dos cilindros. La vaina o cilindro interior presenta mayor concentración de cloroplastos.	Presenta apariencia esponjosa. Las células del mesofilo tienen varias vacuolas con los cloroplastos distribuidos en el pequeño citoplasma.
Máxima tasa de fotosíntesis neta (mg. CO <sub>2</sub> / dm <sup>2</sup> / h).	15 a 40	40 a 80	Comúnmente de 1 — 4. Se reportan valores más altos: 11 a 13.
Producción de materia seca (Ton / Ha/año).	22 ± 3.3.	16.9 ± 38.6	Datos extremadamente variables.
Temperatura óptima de fotosíntesis neta máxima.	20 a 25°C.	30 a 35°C.	35°C.
Respuesta de la fotosíntesis neta al incremento en la intensidad de luz.	Se alcanza saturación de 1/4 a 1/3 de la luz total solar.	Aumenta proporcionalmente o tiende a saturarse a la luz total solar.	El fenómeno es incierto. Aparentemente la saturación se alcanza por debajo de la luz total solar
Punto de compensación de concentración de CO <sub>2</sub> ppm.	0 a 10		0 a 5 en la oscuridad; 0 a 200 durante el día.

Tomado de (1)

cuatro plantas de café caturra, lo cual impidió la obtención de resultados estadísticos aceptables. Los valores de  $r_e$  fluctuaron entre 15 y 25  $\text{sg.cm}^{-1}$ .

La transpiración (T) aumentó con la temperatura alcanzando el maíz los valores más altos y el café caturra los más bajos (Fig. 4). Una cualidad muy importante de las plantas C4 es su mayor economía del agua, es decir, fijan más  $\text{CO}_2$  por gramo de agua transpirada que las plantas C3 (1); esto se expresa por medio de la relación  $F_n/T$  o "eficiencia del uso del agua" (EUA). La Tabla 2 muestra los valores de EUA para las diferentes variedades utilizadas. Se corrobora que la mayor eficiencia la posee el maíz; es bastante significativo que el café típica presentando valores de  $F_n$  menores que el frijol, posea una EUA mayor.

### **Efecto de la intensidad luminosa sobre Fotosíntesis neta ( $F_n$ ) y Temperatura (T)**

En la figura 5 se observa la respuesta fotosintética en función de la intensidad lumínica. El maíz, planta C4, presentó un incremento progresivo de  $F_n$  al aumentar la intensidad de luz mostrando una utilización más eficiente de la energía lumínica; con esta especie no se apreció saturación de luz en el rango de intensidades estudiadas. El frijol incrementó su fotosíntesis neta hasta valores de 4500 bujías-pie; a valores superiores se observó saturación de luz lo cual es característico de plantas C3. Las dos variedades de café incrementaron lentamente su  $F_n$  y la saturación de luz se alcanzó después de 10000 bujías-pie; este comportamiento difiere del observado por otros autores (9, 13, 14) quienes encontraron que las variedades estudiadas por ellos se saturan entre 1/5 y 1/4 de la intensidad luminosa solar total (aproximadamente 12000 bujías pie). Sin embargo Alvin (13) encontró que con el conjunto natural de hojas existe un aumento proporcional de  $F_n$  con la intensidad de luz. De acuerdo con Tió (11) es posible que las plántulas de café se saturan de luz a más altas intensidades que las plantas adultas debido a sus requerimientos energéticos para el desarrollo foliar; esto explicaría los resultados encontrados por nosotros. Aún cuando estas variedades se saturan a altas intensidades lumínicas, no poseen una eficiencia de conversión de energía comparable a la de una planta C4 ya que presentan valores de  $F_n$  mucho menores.

En la figura 6 se registra el comportamiento de la resistencia de mesofilo frente a la intensidad de luz; este fue similar para las especies estudiadas y concuerda con la fijación de  $\text{CO}_2$  interior de la hoja puesto que la rata de  $F_n$  aumenta con la intensidad luminosa (Fig. 5), mientras que  $r_m$  disminuye. Se observa que a bajas intensidades los valores de  $r_m$  eran bastante altos para cada especie ya que los procesos de carboxilación no estaban favorecidos por falta de suficiente energía lumínica que satisficiera las necesidades de ATP y NADPH. La comparación de las figuras 5 y 6 permiten destacar cómo el rango de valores que puede asumir  $r_m$ , influye sobre el comportamiento y valores de fotosíntesis neta en las tres especies.

Una situación similar a la anterior se obtuvo con la respuesta de la resistencia estomatal ( $r_e$ ) a los aumentos en la intensidad de luz (Fig. 7).

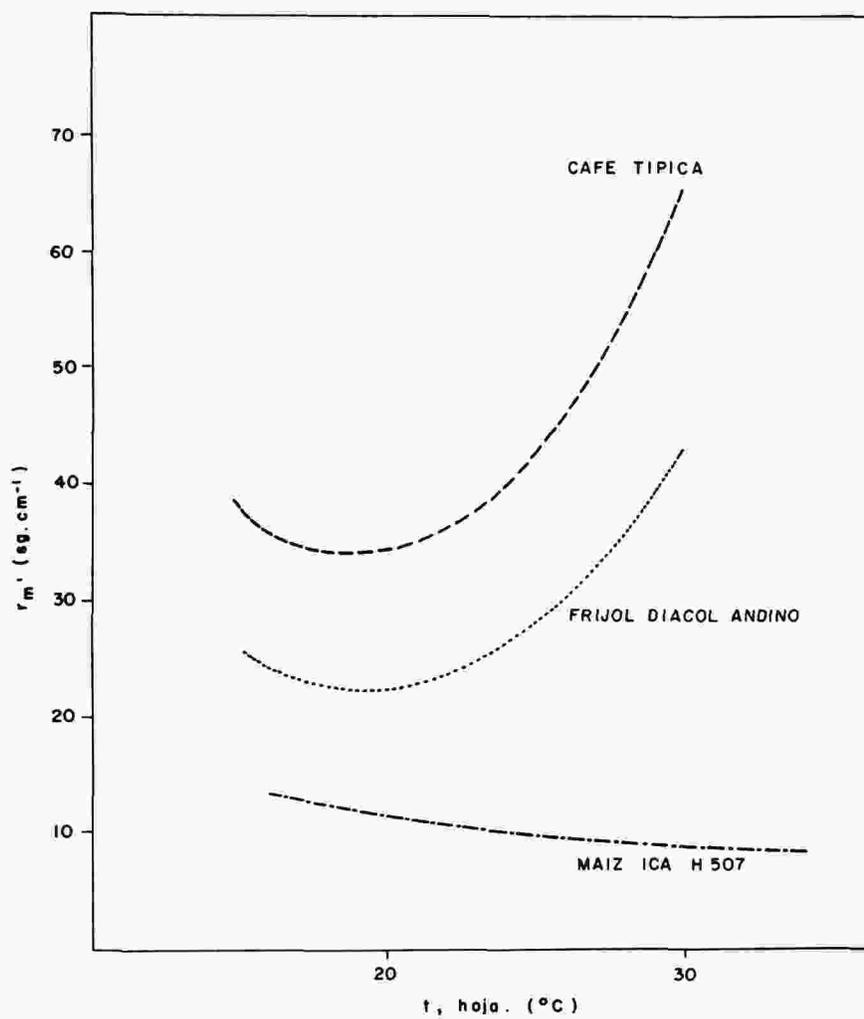


FIGURA 2. Comportamiento de la resistencia de mesofilo de las especies maíz, frijol y café, frente a la temperatura.

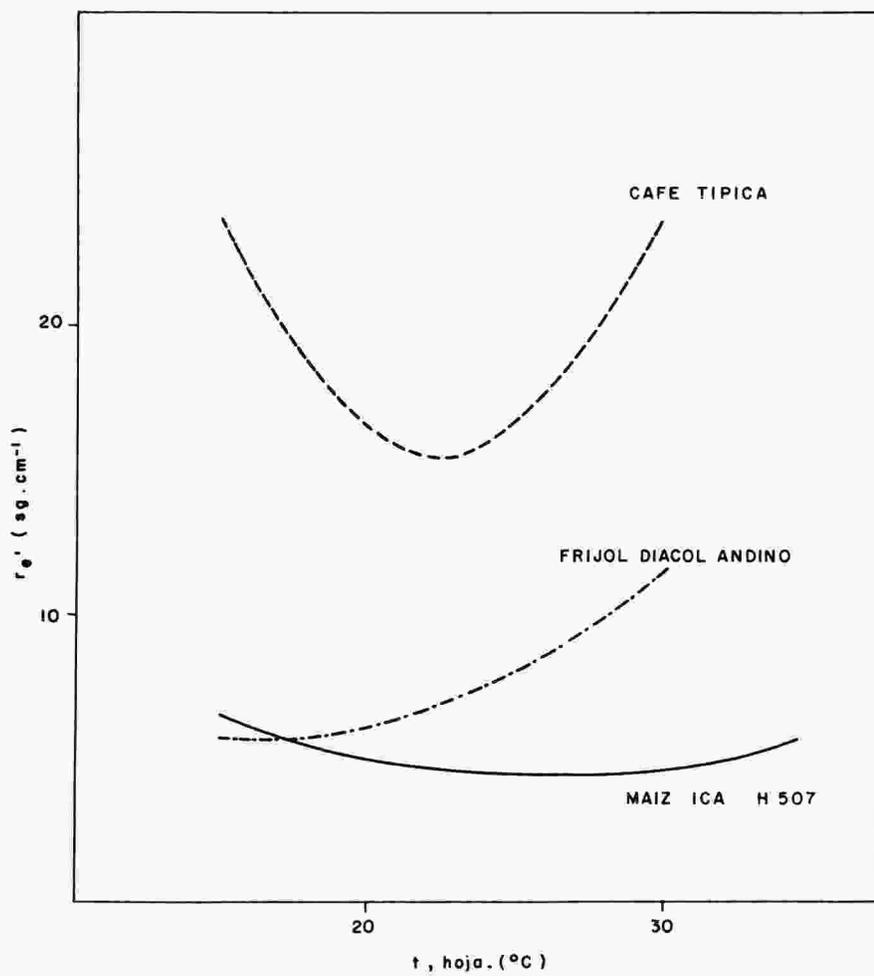


FIGURA 3. Comportamiento de la resistencia estomatal en función de la temperatura.

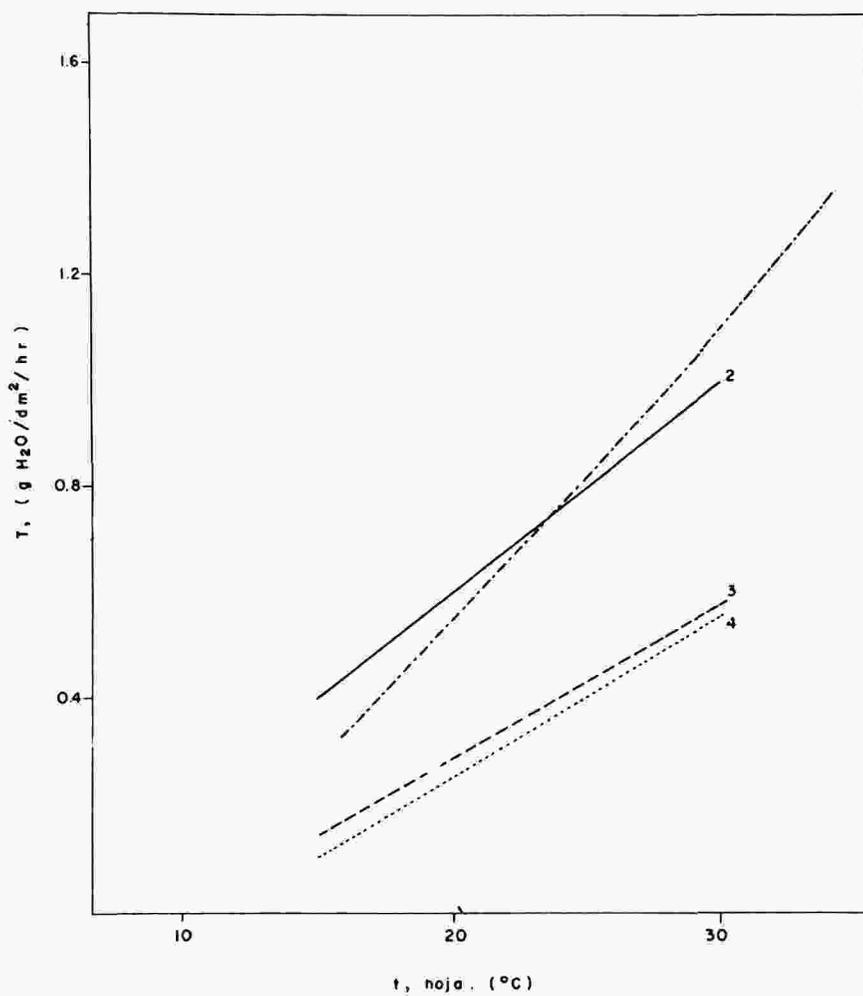


FIGURA 4 . Rata de transpiración de las especies estudiadas frente a la temperatura de la hoja . 1: Maíz ICA H 507 . 2: Frijol Diacol Andino . 3: Café Típica y 4: Café Caturra .

TABLA 2

Eficiencia del uso del agua (EUA) de café, frijol y maíz

PLANTA	T	Fn	EUA
Café típica	0.375	17.0	45.33
Café caturra	0.400	11.2	28.00
Frijol Diacol A.	0.750	29.5	39.33
Maíz ICA H 507	0.800	58.0	72.50

Temperatura = 25°C

Intensidad de luz - Café = 9500 bujías-plé (para típica y caturra)

Frijol = 9000 bujías-plé

Maíz = 11950 bujías-plé.

Se observa que los estomas se abrieron progresivamente a medida que la intensidad de luz aumentó, alcanzando el maíz los mayores valores de apertura estomatal. Este comportamiento está de acuerdo con las observaciones anteriores en las que se presentaba un cierre progresivo de los estomas a medida que disminuía la intensidad de luz, mediante un mecanismo accionado en las células guardas de los estomas por una bomba de potasio (1). El comportamiento de  $r_g$  en las variedades de café no se presenta pues los datos obtenidos mostraron un alto grado de dispersión, para lo cual no podemos ofrecer una explicación satisfactoria.

#### Efecto de la Concentración de $CO_2$ sobre Fotosíntesis neta (Fn)

El comportamiento de las especies estudiadas frente a la concentración de  $CO_2$  en el aire (Fig. 8), refleja el grado de fotorrespiración que presentaron en las condiciones experimentales usadas. La magnitud de la fotorrespiración está dada por el punto de compensación de  $CO_2$ , que es la concentración del gas en el aire, en la cual no existe ni ganancia ni pérdida neta de  $CO_2$  en la hoja. En la figura 8 este valor está dado por la concentración de  $CO_2$  a Fn cero. El maíz ICA H507 presentó el menor punto de compensación de  $CO_2$  (9.1 ppm a 30°C y 11950 b-p) mostrando muy poca fotorrespiración, lo cual es característico de plantas C4 (Tabla 1). El frijol presentó un punto de compensación de 57.5 ppm (a 20°C y 5000 b-p) lo cual corrobora su ubicación como planta C3, ya que ellas presentan puntos de compensación superiores a 35 ppm. Las dos variedades de café presentaron valores próximos a los del frijol siendo de 58.5 ppm para el café típica y de 59.4 ppm para el café caturra (a 23°C y 10000 b-p). Sin embargo los valores de Fn no son iguales en las dos variedades de café, indicando que no solo el grado de fotorrespiración es el responsable de los bajos

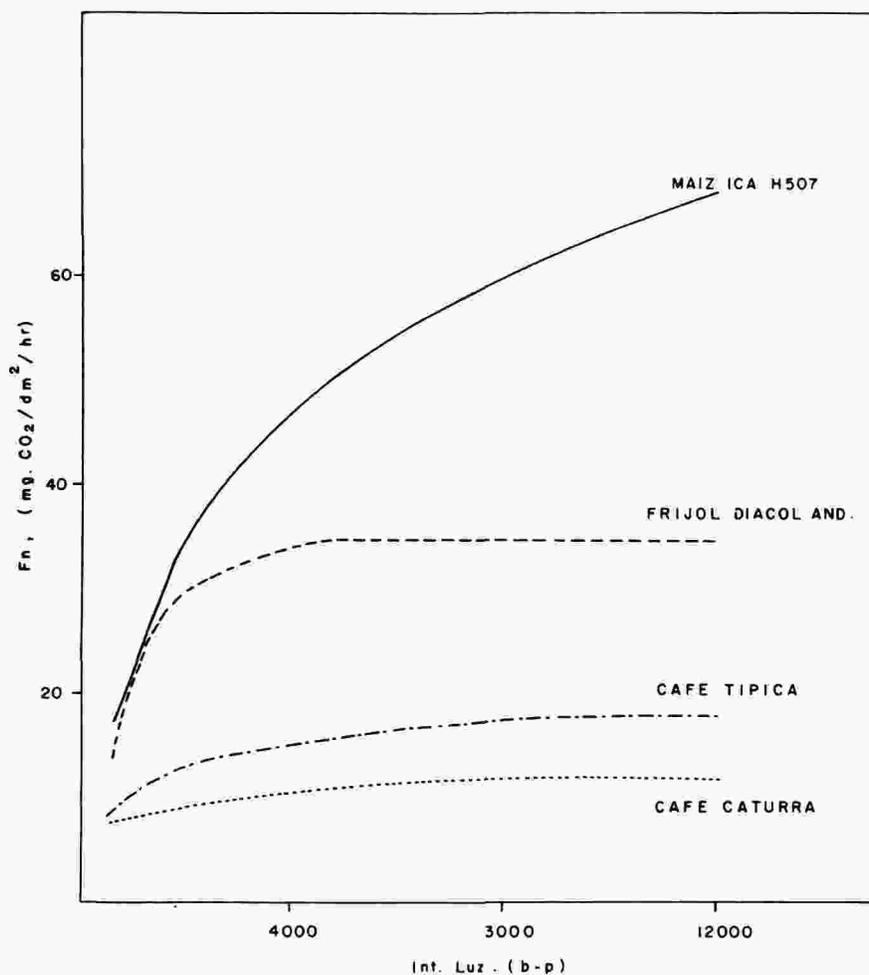


FIGURA 5. Respuesta fotosintética de las especies maíz, frijol y café a la intensidad de luz. Condiciones experimentales: Temperatura: maíz = 30°C; frijol = 22°C; café típica = 23°C; café caturra = 23.5°C. Concentración de CO<sub>2</sub> en el aire, 300 ppm, para las tres especies.

valores de  $F_n$  sino que también  $r_e$  y  $r_m$  influyen decididamente en la rata de fotosíntesis neta. Al comparar los valores experimentales obtenidos con los citados en literatura (9, 15) se observa concordancia entre la relación de  $F_n$  y punto de compensación de  $CO_2$ . Mientras que las variedades caturra y típica con ratas de fotosíntesis entre 11 y 18  $mg\ CO_2 / dm^2 / h$  presentaron puntos de compensación de 59.4 y 58.5 ppm respectivamente, las variedades estudiadas por Jones y Mansfield (15) y por Sondahl et al (9), presentaron ratas de fotosíntesis neta entre 5 y 7  $mg\ CO_2 / dm^2 / h$  con puntos de compensación entre 65 y 85 ppm.

La Tabla 3 resume los datos obtenidos en este trabajo, comparándolos con los citados en la literatura. Las dos variedades de café muestran un comportamiento típico de plantas C3, con excepción de la saturación a altas intensidades lumínicas; sin embargo este comportamiento no es único ya que se han reportado algunas variedades de girasol (16) y de frijol francés (17) que presentaban comportamientos similares.

En un estudio realizado por Orozco (18) se plantea que la especie *Coffea arabica* (a la que pertenecen las variedades típica y caturra) presenta características morfológicas ultra-estructurales que la acercan a las plantas CAM; esto estaría apoyado por su tendencia a saturarse a altas intensidades lumínicas (13). Para determinar si las variedades de café estudiadas poseen características de plantas CAM, se midió el pH de extractos de hojas a través de períodos oscuros y luminosos. Los resultados aparecen en la figura 9 en la cual se observa que la sábila, planta CAM, es la única que presentó variaciones de pH (una unidad en nueve horas), mientras que en las otras especies el pH no varió apreciablemente.

## DISCUSION

Los resultados obtenidos sobre el comportamiento fotosintético del café concuerdan con los encontrados por otros autores respecto a su respuesta fotosintética y ubicación dentro del grupo de plantas C3 (19). El menor grado de fotorrespiración manifestado por las dos variedades de café explica porqué sus ratas de fotosíntesis neta son notoriamente más altas que las de otras variedades citadas en la literatura (9, 10). Esto implica que las variedades caturra y típica poseen una mayor eficiencia en la incorporación del  $CO_2$ , lo cual les confiere características agronómicas deseables.

Considerando los resultados obtenidos con el maíz ICA H507, se puede afirmar que pertenece al tipo de plantas con fotosíntesis C4; los valores de los diferentes parámetros estudiados indican que su cultivo requiere un clima de temperatura diurna entre 28 y 34°C y que tenga una alta intensidad lumínica. El comportamiento de la rata de fotosíntesis neta del frijol Diacol Andino respecto a la temperatura, muestra que esta variedad se desarrollaría muy bien en climas medios con temperaturas entre 18 y 24°C; un clima con temperaturas superiores a 25°C afectaría notoriamente su productividad (ver fig. 1). El hecho de presentar saturación de luz a intensidades bajas (4000 b-p) sugiere la conveniencia de un cultivo con sombrero ya que en varias especies se ha encontrado (12) que luego de

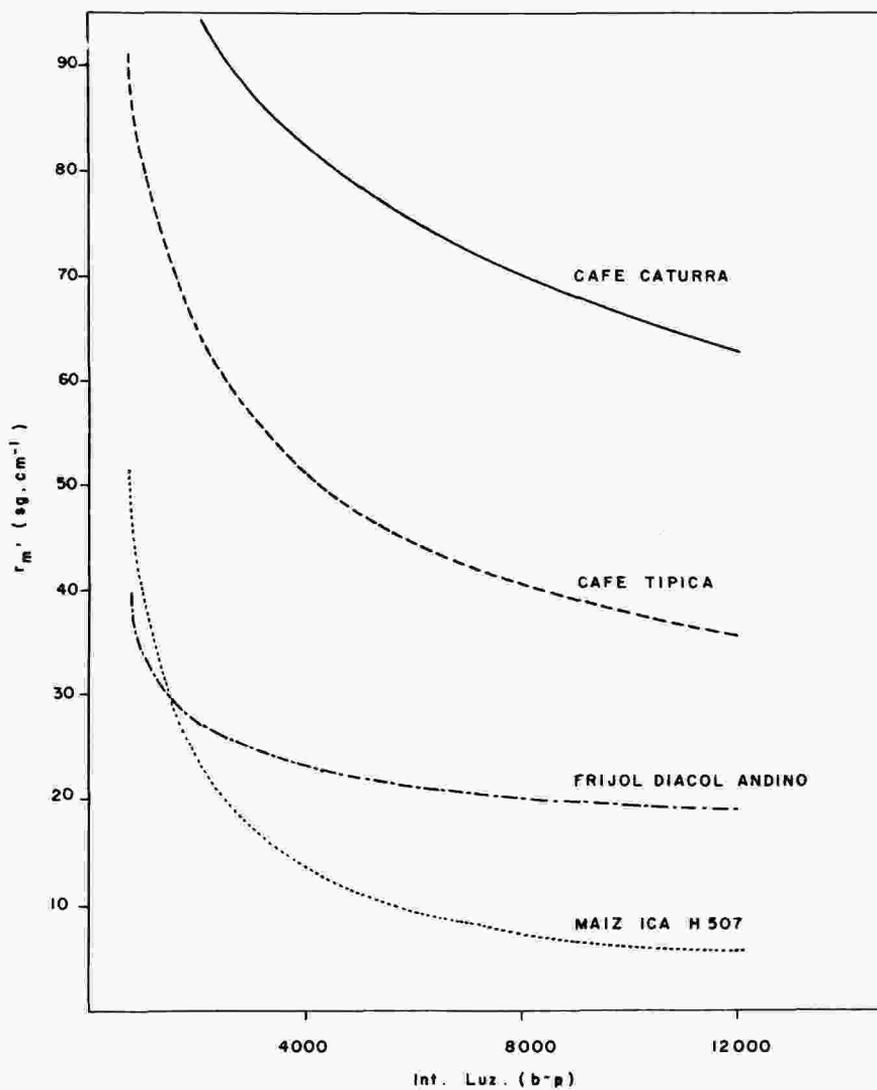


FIGURA 6. Comportamiento de la resistencia de mesofilo de las especies maíz, frijol y café frente a la intensidad de luz.

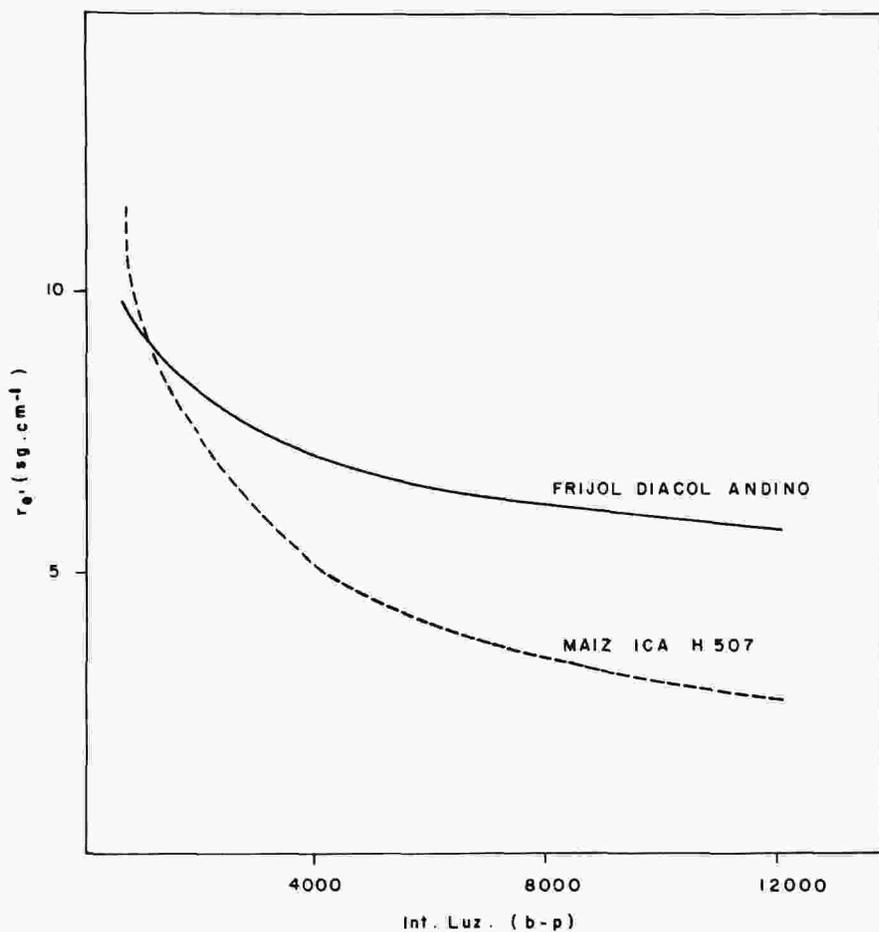


FIGURA 7. Comportamiento de la resistencia estomatal de las especies frijol y maíz frente a intensidad de luz. Condiciones experimentales.

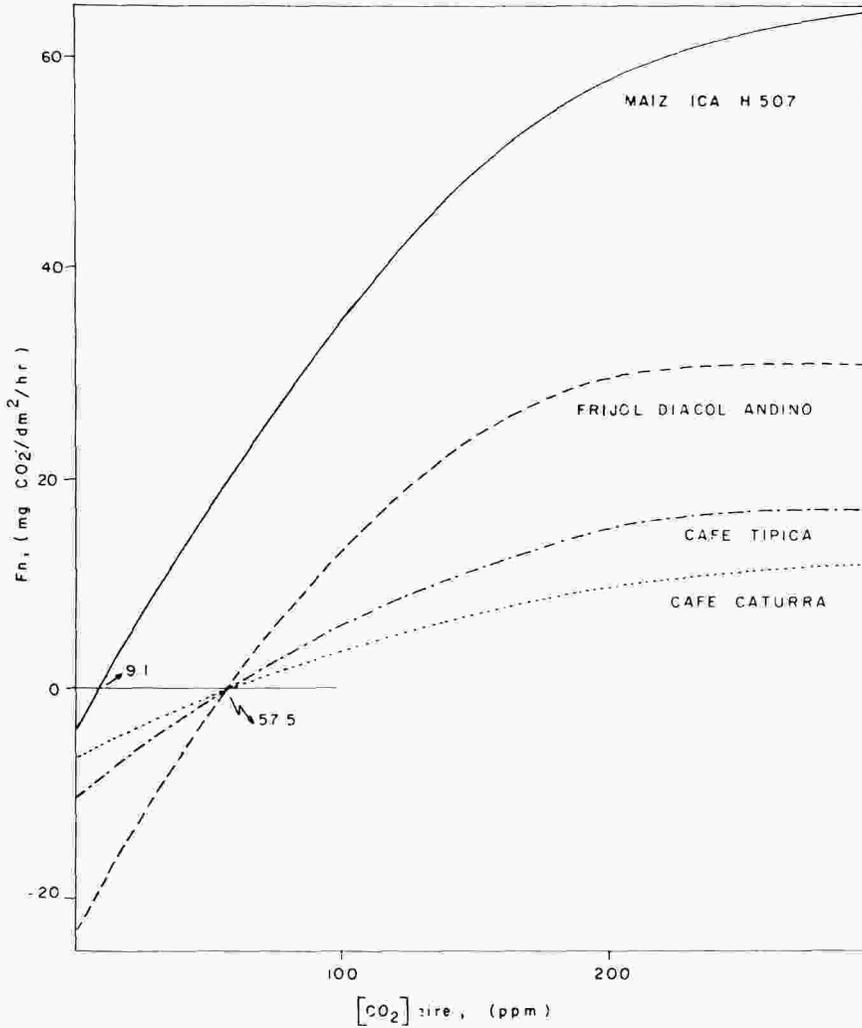


FIGURA 8 Comportamiento de la rata de fotosíntesis neta de las especies estudiadas, ante variaciones en la concentración de  $\text{CO}_2$  en el aire. Condiciones experimentales: Temperatura Maíz =  $30^\circ\text{C}$ , Frijol =  $23^\circ\text{C}$ ; Café Típica y Caturra =  $23$  y  $23.5^\circ\text{C}$ . Intensidad de luz: Maíz =  $11950 \text{ b} \cdot \text{p}$ ; Frijol =  $9000 - 11000 \text{ b} \cdot \text{p}$ ; Café Típica y Caturra  $9500 \text{ b} \cdot \text{p}$ .

TABLA 3

Comparación de ratas de fotosíntesis neta (Fn) y otros parámetros relacionados, con datos publicados por diferentes autores para el frijol, maíz y café

	Rata Máxima de Fn mg CO <sub>2</sub> / dm <sup>2</sup> / h	Temperatura °C	Intensidad de luz de saturación b-p	Punto de Compen- sación de CO <sub>2</sub> , ppm
<b>FRIJOL</b>				
var. Diacol And. otros autores (1, 4, 17, 21, 22, 23)	32-35 30-38	20-23 22-23	4000-4500 2500-3500	57.5 50-54
<b>MAIZ</b>				
var. ICA H 507 otros autores (3, 24, 25, 26)	60-65 55-90	30-34 29-35	no se satura no se satura	9.1 0-10
<b>CAFE</b>				
var. caturra var. típica otros autores (9, 10, 11, 14, 15, 19) Alvin (13)	11-12 16.5-18 3.0-7.8	22.5-24.5 21.5-23.5 20-23	9000-10000 10000-11000 2000-2500 saturación a altas intensi- dades por to- da la planta.	59.4 58.5 65; 80-85

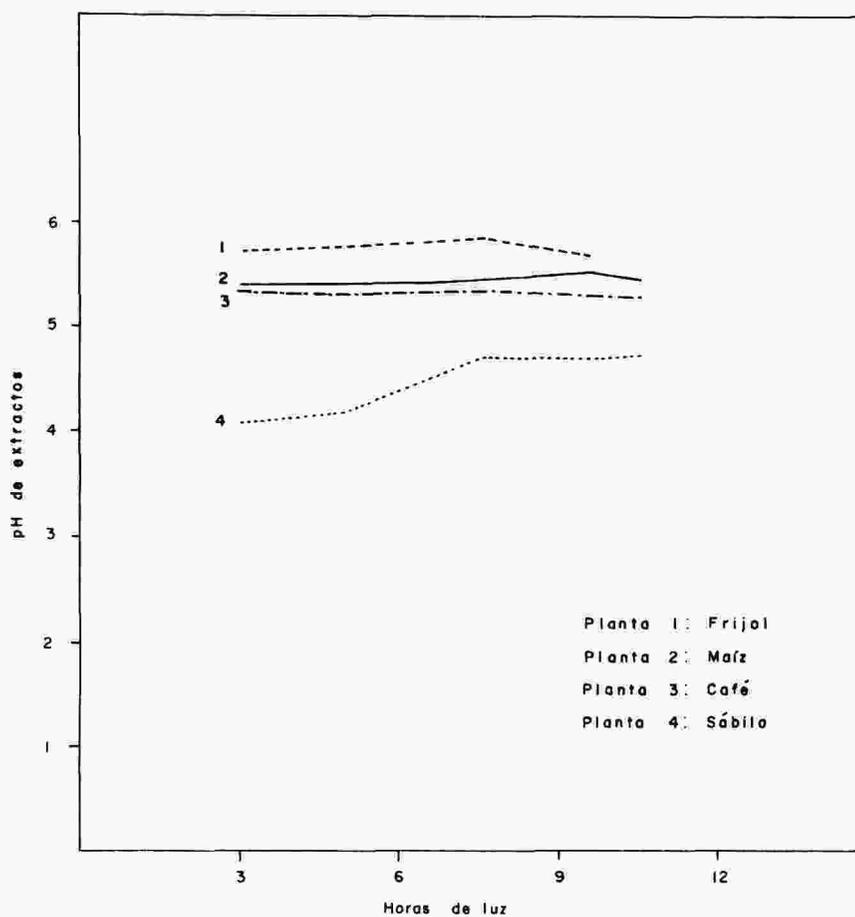


FIGURA 9. Variaciones del pH de extractos de hojas durante diez horas y medio de fotoperíodo. Las plantas tuvieron períodos de luz y oscuridad normales, en invernaderos.

períodos largos con intensidades altas de luz, se puede presentar una baja en la fotosíntesis neta, especialmente por incrementos en la temperatura de la hoja.

El establecimiento de los valores de EUA es de interés pues permite la selección de variedades que aprovechen eficientemente el agua y en consecuencia pueden ser cultivadas en sitios de escasos recursos hídricos. La determinación de EUA mostró que el maíz es la especie más eficiente, lo cual es característico de las plantas C<sub>4</sub>; en orden decreciente se encuentran el café típica, el frijol y el café caturra.

Por último, el efecto de la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire sobre la tasa de fotosíntesis neta tiene una aplicación inmediata pues se pueden lograr aumentos de productividad notables (20) cuando se mantienen las plantas que presentan este efecto, en invernaderos con atmósferas enriquecidas en CO<sub>2</sub> hasta concentraciones del orden de 1000- 1500 ppm.

#### BIBLIOGRAFIA

1. I. Zelitch, "Photosynthesis, photorespiration and plant productivity", Academic Press, Nueva York, 1971, pp. 12-38, 119, 162, 243, 251, 269, 284.
2. M.D. Hatch, S.R. Slack, En: "Progress in Phytochemistry", Liwshitz L., Reinhold (Ed.), Vol. 2, Interscience Publishers, Londres, 1970, pp. 35-70.
3. P.J.M. Sale, En: "Annual Report 1974-75, Division of Irrigation research", Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia, 1975, pp. 15, 16.
4. S. Izhar, D.H. Wallace, *Crop Sci.*, **7**, 457-460 (1967).
5. I. ZELITCH, *Science*, **188**, 626-633 (1975).
6. P. Gastra, *Neth. J. Agric. Sci.*, **10**, 311-324 (1962).
7. E. V. Miller, "Fisiología Vegetal", 1ª Edición en español, Centro Regional de Ayuda Técnica, 1967, p. 129.
8. A. Polania, G. Pérez, S. Camacho, *Rev. Col. Química*, **11**, 69, 1981.
9. M.R. Sondahl, O.J. Crocomo, L. Sodek J. *Exp. Bot.*, **27**, 1187-1195 (1976).
10. M.A. Nunes, J.F. Blerhuizen, C. Ploegman, *Acta Bot. Neer.*, **17**, 93-102 (1968).
11. M.A. Tio, *J. Agr. Univ. P.R.*, **6**, 159-166 (1962).
12. F.B. Salisbury, C. Ross, "Plant Physiology", Wadsworth, Publishing Co., Belmont, Cal, 1969, p. 375.
13. P.T. Alvin, En: "Progresos en la de Producción de Café", IICA, Turrialba, Costa Rica, pp. 11-23.
14. G. Valencia, L. Maya, "Fisiología del Café. Resúmenes", Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia, 1977, p. 17.
15. M.B. Jones, T.A. Mansfield, *J. Exp. Bot.*, **21**, 159-163 (1970).
16. H.W. Woolhouse, *New Series*, **2**, 35-46 (1978).
17. P.J.M. Sale, *Aust. J. Plant Physiol.*, **2**, 461-470 (1975).
18. F. J. Orozco, Tesis de Magister, Universidad Nacional de Colombia e Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, Bogotá, 1974, pp. 15-19.
19. M.A. Nunes, D. Brumby, D.D. Davis, García de Orta, *Sér. est. Agron. Lisboa* **1**, 1-14 (1973).

20. W.B. Collins, *Horscience*, **11**, 467-469 (1976).
21. H.R. Bolhar N., *Biochem. Physiol. Pflanzen*, **169**, 121-161 (1976).
22. R.K. Crookston, J. O'Toole, R. Lee, J.L. Ozbun, D.H. Wallace, *Crop Sci.*, **14**, 457-464 (1974).
23. E.W. Smith, N.E. Tolbert Han San Ku, *Plant Physiol.*, **58**, 143-16 (1976).
24. S. Akita, D.N. Moss, *Crop Sci.*, **13**, 234-237 (1973).
25. M.A. El-Sharkawy, R.S. Loomis, W.A. Williams, *Physiol. Plant.*, **20**, 171-186 (1967).
26. J.D. Hesketh, D.N. Moss, *Crop Sci.*, **3**, 107-110 (1963).