

INSTITUTO DE CIENCIAS AMBIENTALES Y ECOLÓGICAS
POSTGRADO DE ECOLOGÍA TROPICAL FACULTAD DE CIENCIAS,
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

EFFECTO DE DIFERENTES INTENSIDADES DE LUZ SOBRE EL
INTERCAMBIO GASEOSO Y DESARROLLO DEL CACAO
CRIOLLO GUASARE

Tesista: Ing. Alvaro Gómez M

Tutor: Dra. Aura Azócar

VEREDICTO

Quienes suscriben, integrantes del jurado designado por el Consejo de Estudios del Postgrado, de la Universidad de los Andes para conocer y emitir veredicto sobre el **TRABAJO DE GRADO** de **Alvaro Gómez Morales** para optar el título de **Magíster Scientae en Ecología Tropical** y que se titula:

“Efecto de diferentes intensidades de luz sobre el intercambio gaseoso y desarrollo del Cacao criollo Guasare”

Hacen constar lo siguiente:

PRIMERO: que hoy 07 de noviembre de 2002, a las 3:00 p.m., nos constituimos como jurado en el salón A-10 en la Facultad de Ciencias, siendo Presidente del Jurado la Dra. Aura Azócar. **SEGUNDO:** A continuación procedimos a discutir la pertinencia de su defensa pública. Luego de considerar las observaciones críticas de cada miembro de jurado, acordamos por unanimidad autorizar su presentación. **TERCERO:** A las 4:00 p.m. de este mismo día, el jurado se reunió en el salón A-10 y se dio curso al acto público de sustentación del Trabajo de Grado presentado a requerimiento del jurado. **CUARTO:** Una vez concluida la sustentación correspondiente, el jurado interrogó al aspirante sobre los diversos aspectos a que el trabajo se refiere. **QUINTO:** Seguidamente, el presidente del jurado invitó al público asistente a formular preguntas y observaciones sobre el trabajo presentado. **SEXTO:** Una vez concluido el acto de presentación, el jurado procedió a su deliberación final y concluyó que: **SE APRUEBA EL TRABAJO DE GRADO PRESENTADO A NUESTRA CONSIDERACIÓN.**


Dra. Aura Azócar
Tutora




Dr. Fermín Rada R
Jurado


Dr. Mario Fariñas
Jurado

A mi esposa e hijos motivo de inspiración.

Agradecimiento.

- Muy especialmente a la Dra. Aura Azócar tutora del presente trabajo, por sus enseñanzas, colaboración, estímulo y paciencia que siempre me brindo.
- Al profesor Fermín Rada, por su colaboración en el campo, entrenamiento en el manejo de equipos, procesamiento de datos y por sus valiosos comentarios y sugerencias que permitieron el mejoramiento de este trabajo.
- A mi compañero Rafael Dulhoste, por su valiosa colaboración en la preparación de equipos y toma de datos en campo, que hicieron posible la realización de este trabajo.
- A mis compañeros, de Edjuli, Pablo, Marjorie, Belkis, Zoraida por su apoyo en todo momento y por brindarme su amistad.
- Al FONACIT cuya subvención económica hizo posible mi formación en el postgrado.
- Al CDCH por el cofinanciamiento para la ejecución del trabajo de campo.
- A la Ing. Gladys Ramos del INIA-Mérida, por su colaboración para el uso de las instalaciones del Campo Experimental San Juan de Lagunillas.
- Al profesor Ciro Dávila, por sus enseñanzas en el manejo de paquetes estadísticos.
- En general a todo el personal del ICAE que me brindo su colaboración y apoyo.

Resumen.

El presente estudio fue realizado en San Juan de Lagunillas, Mérida, Venezuela, a una altura de 1050 m.s.n.m. La sombra, juega un papel primordial en la fisiología del cacao y por otro lado su efecto en el campo es muy complejo porque implica: reducción de la intensidad de la luz, temperatura y movimiento del aire y afecta la humedad relativa y la humedad del suelo, papel del cual se debería tener un mejor conocimiento que permita resolver los problemas que todavía se plantean en cuanto a su utilización racional, para maximizar el crecimiento de las plantas en sus primeros años de establecimiento y posteriormente para incrementar la producción en la plantación. El objetivo de esta investigación fue estudiar el efecto de diferentes intensidades de luz, sobre el intercambio gaseoso y el desarrollo del cacao criollo Guasare (*Theobroma cacao var.*), a fin de determinar el grado de sombreado óptimo requerido después del trasplante. Se utilizaron mallas plásticas que permitieron controlar la intensidad de la luz y se controlaron las condiciones de humedad del suelo. Se realizaron cursos diarios de variables microclimáticas, intercambio gaseoso, potencial hídrico foliar y se determinaron parámetros de crecimiento en plantas de seis meses provenientes de semilla. También se estudiaron las propiedades hídricas del tejido foliar a través de curvas presión – volumen, los contenidos de nitrógeno y clorofila foliar y el área foliar específica. El potencial hídrico foliar fue más negativo a plena exposición y no alcanzo valores cercanos al punto de pérdida de turgor en ninguno de los tratamientos. La conductancia estomática presento valores muy bajos y disminuye

desde tempranas horas de la mañana en todos los tratamientos, observándose una ligera tendencia a mayores pérdidas de agua a plena exposición. La tasa de transpiración fue mayor a plena exposición. Los mayores valores de asimilación se observaron en plantas creciendo a 60 y 40 % de luz, presentando una tendencia a alcanzar tasas máximas de asimilación entre 2,8 y 3,4 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$, llegando a saturación lumínica, alrededor de 200 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$ y presentar bajos puntos de compensación (6 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$). El tamaño de la hoja, la longitud de los entrenudos y la materia seca por planta fueron significativamente reducidos a plena exposición en comparación con los tratamientos de 60, 40 y 20 % de luz. La mayor altura y diámetro del tronco se alcanzó en plantas creciendo bajo 40 y 20 % de luz. Los resultados sugieren que el criollo Guasare requiere de intensidades de luz inferiores al 40 % al momento del trasplante.

Palabras claves: Cacao, intercambio gaseoso, potencial hídrico, nitrógeno, clorofila, crecimiento.

1. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao*, Linneo, 1737), es una especie natural de los bosques húmedos de América tropical (Murray, 1975), entre 18° N y 15° S, y entre 45° y 80° O (Leal y Valderrama, 1997). Generalmente crece por debajo de 1400 msnm (Alvim, 1977), ubicándose su centro de origen en la cuenca alta del Amazonas donde *Theobroma* y otros géneros relacionados, se encuentran en gran diversidad (Cuatrecasas, 1964). Desde este centro de origen las especies se diseminaron principalmente en dos direcciones, resultando dos grupos de cultivares conocidos como criollos y forastero; el primero se dispersa a través de los Andes hacia el norte de América y el segundo hacia la Amazonia (Cuatrecasas, 1964; Toxopeus, 1987).

Recientemente Leal y Valderrama, (1997) describen como centro de origen de *Theobroma cacao* L., la vertiente oriental de los Andes colombianos y ecuatorianos, en las cabeceras de los ríos Napo, Caquetá y Putumayo. Desde allí en tiempos remotos, las poblaciones se dispersaron en dos direcciones: al este, hacia el Amazonas y el Orinoco hasta las Guayanas, y al norte hacia Colombia, Centro América y México, evolucionando de manera separada. Los cacaos criollos se originaron como mutaciones conservadas por el aislamiento geográfico y por las selecciones realizadas por los mayas y aztecas, quienes lo domesticaron (Leal y Valderrama, 1997).

En Venezuela la mayor diversidad de especies del género *Theobroma* se encuentra en el estado Amazonas, donde son endémicas algunas especies y subespecies (*Theobroma cacao* subsp. *sphaerocarpum*, *T. grandiflorum*, *T. bicolor*, *T. gireli*, *T. subicanum*), de las 22 especies consideradas por Cuatrecasas en 1964 (Leal y Valderrama, 1997).

Se denominan como criollos (*Theobroma cacao* L) aquellos que reúnen las mismas características de los antiguos cacaos criollos venezolanos y en particular mantienen como carácter exclusivo almendras con cotiledones de color blanco o crema, grandes y de formas casi redondeadas. (Braudeau, 1970; Wood, 1975; Wood y Lass, 1987). Estos son cacaos aromáticos que presentan sabores y aromas a frutas, almendras, flores, bosque y no presentan sabor amargo; requieren de tres días para su completa fermentación.

Se considera como forasteros (*Theobroma cacao sphaerocarpum*) la casi totalidad de los cacaos corrientes que son sembrados en Brasil, África Occidental, Malasia e Indonesia, además de otras variedades cultivadas en Centro y Sur América (Reyes y Capriles, 2000) Se distinguen por sus almendras planas con cotiledones de intenso color púrpura, sabor amargo, aroma poco pronunciado y que requieren de 5 a 7 días para lograr su completa fermentación (Braudeau, 1975; Wood, 1975; Wood y Lass, 1987).

Los cacaos forasteros (*Theobroma cacao subsp. sphaerocarpum*) ubicados en el oriente venezolano, se cruzaron con los cacaos criollos para formar el complejo de híbridos llamados trinitarios, más vigorosos y resistentes a plagas y enfermedades, pero con almendras de menor calidad, que han venido sustituyendo, paulatinamente, a los cacaos criollos en el sentido este – oeste de Venezuela (Leal y Valderrama, 1997).

Los cacaos criollos proporcionan lo que comercialmente se conoce como cacao fino, se trata de un cacao muy aromático utilizado en la fabricación de chocolatería fina. Dentro del grupo de los criollos se incluyen el Criollo Andino, Porcelana y Criollo Pentágono, cada uno con características muy particulares que los diferencian entre sí (Reyes y Capriles, 2000). A pesar de sus cualidades, son muy pocas las plantaciones de cacaos criollos que existen actualmente, ocupando menos del 1% del total de la superficie sembrada, la cual es de 65.000 ha., no siendo este el caso de los cacaos forasteros y trinitarios los cuales estarían ocupando (aproximadamente) más de 58.500 ha.

El árbol de cacao, pertenece al estrato inferior de los bosques donde predominan condiciones de calor, sombra y humedad (Urquhart 1963), lo que explica el método tradicional del cultivo bajo sombra, donde se trata de semejar las condiciones de clima y ambiente de las poblaciones naturales (Braudeau, 1970).

El cacao puede sobrevivir bajo sombra muy densa pero presenta poca producción de frutos; en las plantaciones tradicionales existen aproximadamente 80 árboles de sombra por hectárea (Alvim, 1977), pero también puede establecerse bajo una alta intensidad lumínica como lo demuestran las plantaciones a plena exposición. Sin embargo en la mayoría de las zonas cacaoteras, es virtualmente imposible establecer plantaciones de cacao sin sombra durante los primeros 2 a 3 años.

En este sentido, Alvim et al (1974) demostraron que el efecto benéfico de la sombra temprana se debe no sólo a la reducción de la exposición a la radiación solar, sino también a la disminución del movimiento del aire alrededor de las plantas jóvenes y entre ambos factores se contribuye a reducir el estrés hídrico. Después de transcurrir la etapa juvenil o cuando las hojas del dosel están lo suficientemente desarrolladas para proveer alguna sombra, la producción del cacao es usualmente alta con poca o casi ninguna sombra (Murray, 1957; Alvim, 1960; Cuninghan y Arnold, 1962).

El efecto de la sombra en cacao es muy complejo, ya que implica reducción de la intensidad de la luz, de la temperatura y del movimiento del aire, lo cual afecta la humedad relativa y la humedad del suelo (Wood y Lass, 1987). El cacao crece usualmente bajo sombra y exhibe muchas de las características de las plantas de sombra (Raja Harun y Harwick, 1988), tales como: mayor área foliar, menor densidad estomática por unidad de área foliar, menor espesor de la lamina

foliar (las células del mesófilo tienden a ser de forma irregular y el número total de células a través de la sección foliar es menor que en las plantas de sol); el contenido de clorofila (a + b) es mayor por unidad de peso seco. A estas características se deben añadir: bajas tasas fotosintéticas, saturación a bajos niveles de luz y fotoinhibición de la fotosíntesis a bajas radiaciones (Björkman, 1981).

La relación entre radiación y asimilación de CO₂ en cacao fue estudiada por Lemeé (1955), quien encontró que en hojas de plantas maduras bien fertilizadas y regadas, la tasa de asimilación aumentaba de 7 a 22 mg CO₂ / dm² por día cuando la intensidad lumínica variaba desde 2 a 25 % de la luz diaria. Este autor observó, que durante días brillantes se producía una marcada disminución en la tasa de asimilación cuando la radiación solar excedía valores entre 210 y 310 J / m² / seg., rango en el cual otras plantas alcanzan y mantienen sus máximas tasas de asimilación. Asimismo encontró que para plantas creciendo bajo sombra, este efecto ocurre a niveles más bajos de radiación.

Resultados similares de saturación a exposiciones del 20% de luz a plena exposición fueron obtenidos por Okali y Owusu (1975) quienes también encontraron una disminución de la tasa fotosintética a intensidades de luz tan altas como 30%. Hutcheon (1976) además de una saturación lumínica alrededor del 15% de luz a plena exposición en horas del medio día, encuentra que las hojas provenientes de plantas jóvenes muestran una disminución en la tasa fotosintética

a altas intensidades de luz, mientras que las de árboles vigorosos, mostraron poca o ninguna disminución en la medida que se incrementa la intensidad lumínica a plena exposición solar.

La sombra también afecta la temperatura y humedad relativa alrededor de la planta lo que produce efectos sobre la transpiración. Es evidente que las plantas jóvenes son muy sensibles al estrés hídrico, cuando son expuestas, ya que sólo prosperan si se mantiene un buen suministro de agua y se restringe el movimiento del viento (Cunningham y Burrige, 1960; Alvim, 1977). Este estrés hídrico produce el cierre de los estomas durante períodos de alta radiación causando una disminución de la tasa fotosintética (Hutcheon, 1976). A nivel de diferentes cultivares de cacao también se encuentran diferencias en la habilidad para crecer a plena exposición (Hutcheon, 1976).

Todos estos resultados indican que en el cacao, los requerimientos de sombra en plantas jóvenes para un óptimo crecimiento y posteriormente para una adecuada cosecha, cambian con el tiempo; durante los primeros 12 a 18 meses el crecimiento es mayor a intensidades entre 30 y 60 % de luz. A partir del tercer año el efecto de la sombra es evidente, a intensidades entre 15 y 20 % la producción es baja y la fertilización tiene poco efecto, a intensidades de 50% de luz la producción y la respuesta a la fertilización se incrementan, por encima de este valor la producción cae si no se fertiliza y se incrementa con su aplicación hasta un máximo de 75 % de luz (Evans y Murray, 1953).

Owusu (1978) cita varios reportes que muestran que el cacao requiere diferentes condiciones de sombra para su óptimo crecimiento en los diferentes estadios de desarrollo de la planta. Sheperd (1976) recomienda un 80% de sombra durante los primeros meses de crecimiento; de igual manera Raja Harun y Kamariah (1983) demostraron que el crecimiento es óptimo con 80% de sombra durante los tres primeros meses reduciéndose después a 55% durante el cuarto y quinto mes.

En Venezuela se acostumbra mantener las plantas en vivero a 75% de sombra (Ramos et al, 1999) durante los primeros 5 a 6 meses, mientras simultáneamente se establece la sombra en el campo la cual corresponderá, más o menos, al 50% de sombra al trasplante. Cuando las plantas son llevadas a campo bajo mínimas condiciones de sombra los resultados son desastrosos para algunos híbridos (Lee, 1978).

Los efectos perjudiciales de las condiciones sin sombra, son debidos al estrés asociado con la plena exposición y el movimiento del viento (Alvim, 1965), excesivas temperaturas foliares (Okali y Owusu, 1975) y el incremento en la pérdida de agua (Bonaparte, 1967).

Estos resultados sugieren que el cacao se puede establecer en suelos químicamente pobres y sin fertilización bajo una sombra adecuada, obteniéndose

una buena producción y que en suelos fértiles o con mediana fertilidad un cacao bien establecido produce más con poca o ninguna sombra.

De todas las consideraciones anteriores se puede concluir que la ventaja de la sombra en el cultivo del cacao, no es sólo proveer una baja intensidad de luz, considerada como óptima para el crecimiento y producción del cultivo, sino la de contrarrestar factores ecológicos desfavorables, tales como: baja fertilidad, daños por viento, alta transpiración, estrés hídrico y el incremento del ataque de plagas.

Si todos estos factores se pudieran controlar por otro medio que no fuese la sombra, se podrían obtener altas producciones, desde este punto de vista la sombra moderada parece ser lo más seguro y económico para contrarrestar estas condiciones adversas en los sitios donde los suelos y la disponibilidad de agua pudieran estar limitando el cultivo (Alvim, 1977).

La mayoría de las investigaciones realizadas en cacao apuntan hacia las reacciones que muestran los forasteros, trinitarios e híbridos a los diferentes factores ambientales, debido tal vez al éxito que han tenido a lo largo del tiempo desde su introducción por su productividad y resistencia a plagas y enfermedades. No hay que olvidar el hecho de que gran parte de la demanda mundial es cubierta por la producción de estos cultivares, dejando a un lado el criollo, cuya producción a escala mundial es muy pequeña si se compara con los anteriores, pero de la

cual depende la industria chocolatera para agregar a su producto, ese sabor y aroma que tanto caracteriza al cacao criollo.

Actualmente la demanda de este tipo de cacao viene creciendo, pero la superficie sembrada sigue un rumbo contrario y aunado a esto se puede agregar el desconocimiento que sobre la respuesta a los diferentes factores ambientales se tiene de los cacaos criollos. Venezuela es uno de los países productores de cacao fino de aroma reconocido en el ámbito mundial y de su cultivo dependen muchos productores de cacao.

Por lo antes expuesto, se hace necesario establecer acuerdos en cuanto al grado de sombreado necesario para maximizar el crecimiento y producción del cacao criollo en sus diferentes etapas de desarrollo.

El propósito de este trabajo es dar respuesta a algunas interrogantes, como son: ¿Cuál es el grado de sombreado requerido por el Cacao Criollo Guasare después de trasplantado? ¿Cómo afecta su tasa fotosintética? y ¿Qué efectos tiene sobre su crecimiento?

Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes intensidades de luz, sobre el intercambio gaseoso y el desarrollo en el cacao criollo Guasare, a fin de determinar el grado de sombreamiento óptimo requerido después del trasplante.

Objetivos específicos

- Determinar el desarrollo de los individuos en cada uno de los tratamientos a fin de establecer bajo qué condiciones de luz se obtiene un mayor crecimiento.

- Determinar bajo qué condiciones de luz se obtiene la mejor respuesta fotosintética en el cacao Guasare.

- Establecer el comportamiento de algunas de las propiedades hídricas del tejido foliar en el cacao Guasare bajo los diferentes tratamientos de luz.

- Comparación de la conductancia estomática y la tasa de transpiración en las diferentes intensidades de luz.

- Determinar la eficiencia de uso de la luz, a través de los contenidos de clorofila y nitrógeno por unidad de peso seco.

- Establecer el efecto de los diferentes tratamientos de luz sobre el área foliar específica y materia seca en el cacao Guasare.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2 . 1 Descripción del área.

El presente trabajo se realizó en el Campo Experimental San Juan de Lagunillas, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), ubicado en la localidad de San Juan Lagunillas, sector El Estanquillo (08° 30' N y a 71° 20' O), a una altitud de 1050 msnm, en una zona de vida de bosque seco premontano bajo. La temperatura media diaria de la zona es de 22,2 °C y la precipitación promedio anual es de 550 mm (Estación San Juan de Lagunillas, IIAP - ULA), en estas condiciones el cacao se mantiene bajo riego.

2 . 2 Descripción del Criollo Guasare.

El cacao criollo Guasare es un cacao fino de aroma colectado en las márgenes del río Guasare, a 750 msnm, en las estribaciones de la Sierra de Perijá en el estado Zulia, en una zona de bosque seco tropical, el cual fue posteriormente establecido en el Campo Experimental San Juan de Lagunillas, partiendo de una selección de árboles por criterios de sanidad y productividad (más de 100 frutos por árbol, color de cotiledones 100 % blancos, índice de almendra > de 1,65 gr. (el cual está referido al peso en gramos de una almendra seca y se considera que por encima de 1,20 gr. es aceptable) e índice de mazorca < de 18 (cantidad de mazorcas requeridas para obtener un kilogramo de cacao seco) (Ramos et al 1999).

El árbol, presenta una arquitectura intermedia (el ángulo que se forma entre las ramas y el tronco es de 91 a 135°, Engels et al 1979), alta pubescencia en las ramas terminales, coloración parda en pecíolo de las hojas y en las ramas jóvenes, con brotes de color verde muy pálido, frutos de forma oblonga y ápice agudo con coloración verde claro y que maduran a amarillo, almendras elípticas de color blanco y redondeadas con un índice de almendra de 1,88 (Ramos et al 1999).

2 . 3 Diseño Experimental.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron plantas de seis meses de edad provenientes de semillas, a las que se les suministró el mismo manejo en vivero (aplicación de fertilizante, fungicidas e insecticidas, frecuencia de riego y control de malezas), posteriormente fueron trasplantadas a bolsas de 18 Kg para simular su traslado a campo, y se distribuyeron bajo un diseño experimental en bloques con parcelas divididas, dos factores, cuatro repeticiones y 16 unidades muestrales por parcela.

Factor A: Intensidad de luz: 100%, 60%, 40% y 20%.

Factor B: Dosis de fertilizante; NPK (12 – 24 – 12), b₁ dosis media (375 Kg/Ha) y b₂ dosis alta (417 Kg/Ha), aplicando al momento del trasplante 1/5 de la dosis recomendada para plantas adultas (Reyes y Capriles, 2000), b₁ = 68 gr. y b₂ = 75 gr.

Las parcelas principales (intensidad de luz), se distribuyeron en franjas y las subparcelas (dosis de fertilizante) fueron distribuidas dentro de las parcelas principales completamente al azar de acuerdo a la figura 1.

100%		60%		40%		20%	
b ₁	b ₂	b ₂	b ₁	b ₁	b ₂	b ₁	b ₂

Figura 1. Esquema de la repartición espacial de los tratamientos de luz y fertilizante.

Para los tratamientos de luz se utilizaron mallas que permitieron controlar su paso, colocadas sobre estructuras de tubos de hierro a una altura de 1,90 m y separadas por una distancia de 2,0 m, las cuales se orientaron en sentido este - oeste para evitar el solapamiento entre los diferentes tratamientos de luz. Las unidades muestrales dentro de cada repetición fueron ubicadas a distancias de 0,5 x 0,5 m entre sí (figura 2). A fin de disminuir los daños ocasionados por el viento, se colocó una malla rompevientos de 2 m de altura.



Figura 2 Vista parcial de la estructura utilizada y distribución de las plantas en el campo.

2. 4 Descripción del sustrato.

Al suelo utilizado como sustrato se le practicó un análisis físico-químico que permitió determinar sus condiciones y limitaciones para el cultivo, con el fin de suministrar los tratamientos de fertilización para las plantas. Presenta una textura Franco-Arcillo-arenosa, lo cual se traduce en una textura media de adecuada capacidad de retención de humedad y buena aireación. El contenido de fósforo en el sustrato fue bajo (6 ppm); el potasio (129 ppm), calcio (874 ppm) y magnesio (144 ppm) presentan niveles altos y el contenido de materia orgánica es medio (2,21 %), la reacción del suelo (pH) es neutra (6,5) (ver anexo A).

Se determinaron el punto de marchitez permanente (PMP) y la capacidad de campo (CC), para controlar las condiciones de humedad del suelo durante el experimento.

2. 5 Mediciones en el Campo.

2 . 5 . 1 Mediciones de Intercambio gaseoso.

Para las mediciones de transpiración, conductancia y fotosíntesis se utilizó un sistema portátil de intercambio de gases, operado en “modo abierto” (sistema LCA-4, the Analytical Development Co. Ltd., Hoddesdon, Herts, England), consistente de una cámara foliar, una unidad abastecedora de aire y un analizador de gases infrarrojo. La cámara foliar, dentro de la cual se coloca una porción de hoja, posee un sensor de humedad, uno de temperatura del aire y un sensor cuántico para las mediciones de radiación fotosintéticamente activa.

En el modo abierto, el material foliar se coloca dentro de la cámara, por la cual pasa un flujo de aire controlado, con concentraciones conocidas de vapor de agua y CO₂. Las tasas de intercambio de gases se determinan a través de la tasa de flujo de aire, del área foliar que se encuentra dentro de la cámara y de las diferencias en concentración de vapor de agua y de CO₂ del aire que entra y sale de la cámara (concentración de referencia y análisis, respectivamente).

Los cálculos del intercambio gaseoso fueron hechos según Von Caemmerer y Farquar (1981). Para los cálculos finales del intercambio de gases se utilizó un factor de corrección suministrado por los fabricantes del equipo analizador, el cual toma en cuenta el efecto de disolución del vapor de agua transpiracional dentro de la cámara foliar.

Cálculos de intercambio de gases:

a.- Conversión de los flujos volumétricos o de masas en flujos de aire.

$$f = fv / 1000 * 1 / 22,4 * 273,15 / (273,15 + T) * p / 101,3 * 1 / 60$$

donde:

f = flujo molar de aire ($\text{mol} * \text{s}^{-1}$)

22.4 = volumen en dm^3 de un mol de aire en condiciones normales de presión y temperatura.

T = temperatura registrada durante la medición ($^{\circ}\text{C}$).

p = presión atmosférica registrada durante la medición (Kpa).

b.- Cálculos de área foliar:

La cámara ADC-Parkinson utilizada, tiene un área de 6.25 cm^2 . En el caso del cacao las hojas son lo suficientemente grandes y ocupan toda el área de la cámara.

c.- Cálculos de la tasa de transpiración (E).

$E = f / s * (x_0 - x_e) / (1 - x_0)$, donde:

E = tasa de transpiración ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

x_0 = fracción molar de vapor de agua a la salida de la cámara (mol mol^{-1})

x_e = fracción molar de vapor de agua a la entrada de la cámara (mol mol^{-1})

s = tiempo en segundos.

x_0 y x_e son cálculos de las presiones de vapor saturadas (e_s) a la temperatura foliar medida, dada la humedad (HR).

$x_0 = e_s * HR / (100 * p)$

d.- Cálculos de tasa de asimilación (A)

La fórmula básica usada es la siguiente $A = f / s * \Delta C$, donde:

ΔC = diferencia en la concentración de CO_2 entre los flujos de referencia y análisis (mol mol^{-1})

Se debe aplicar una corrección por el aumento de vapor de agua por transpiración de la hoja siendo la fórmula definitiva: $A = f / s * \Delta C * [(1 - x_e) / (1 - x_e)]$

e.- Cálculo de la conductancia estomática (Gs)

$G_s = E / (X_s - x_e)$, donde:

G_s = conductancia estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

X_s = fracción molar de vapor de agua a saturación. Aquí se asume que la hoja esté saturada con el vapor de agua a la temperatura foliar existente T_i .

f.- Cálculo de concentración interna de CO₂

$C_i = C_o - (A * 1,6) / G_s$, donde:

C_o = Fracción molar de CO₂ en el aire que sale de la cámara foliar dada por $(C_e - \Delta C)$, entre las medidas de referencia y referencial (mol mol⁻¹).

1,6 = relación de difusividad del CO₂ y el vapor de agua en el aire. La capa límite es ignorada en este cálculo simple.

Durante la experimentación se seleccionaron al azar dos plantas en las subparcelas de cada tratamiento de luz (cuatro plantas por repetición, para un total de 16 plantas por tratamiento de luz) para realizar los cursos diarios de medición de intercambio de gases, en los que se midieron los diferentes parámetros a observar. En cada planta se seleccionaron dos hojas adultas (quinta o sexta hoja después del último crecimiento) en buen estado para hacer las mediciones (8 hojas por repetición, 32 hojas por tratamiento). Los cursos diarios se realizaron, comenzando a las 8 de la mañana y con intervalos de 2 horas.

2 . 5 . 2 Potencial Hídrico Foliar.

Durante las mediciones de intercambio gaseoso, también se realizaron cursos diarios de potenciales hídricos foliares (ψ_f), utilizando una bomba de presión de Scholander. El principio de operación de este instrumento, consiste en introducir tallos u hojas (dependiendo del tamaño) en una cámara hermética, a las cuales se le aplica una presión positiva con un gas inerte (nitrógeno), de manera

tal de vencer la presión negativa (tensión) de la columna de agua que se encuentra en el xilema. La presión de nitrógeno es controlada mediante una válvula, hasta que sea lo suficiente para hacer retornar la columna de agua a la superficie cortada, expuesta a la presión atmosférica, tomando la medición de la presión compensante mediante un manómetro integrado al aparato.

Para la medición de potencial hídrico (ψ_f) se tomaron tres hojas adultas bien desarrolladas (quinta o sexta hoja a partir del último crecimiento) en diferentes plantas ($n = 3$) para cada tratamiento, comenzando a las 8 de la mañana, 12 del medio día, 2 de la tarde y una última que coincidió con la última medición de intercambio de gases.

2 . 5 . 3 Variables Microclimáticas.

Temperatura del aire y foliar.

Se utilizaron termopares tipo T contruidos con dos metales diferentes (cobre – constantan), formando dos uniones las cuales al estar a diferentes temperaturas generan un pequeño diferencial eléctrico proporcional al diferencial de temperatura que puede ser medido con la ayuda de un micro-voltímetro. Para conocer la temperatura de una de las uniones es necesario conocer previamente la temperatura de la otra por lo que se utiliza un compensador para mantener esta unión a 0 °C.

El cálculo de la temperatura se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$T\text{ }^{\circ}\text{C} = 24,8821 * mv + 0,22397$, donde:

T °C = temperatura en grados centígrados y

mv = micro voltios medidos.

Se colocaron dos termopares foliares adheridas al envés de la hoja y un termopar para medir la temperatura del aire en cada tratamiento de luz.

Humedad relativa.

Para su medición se utilizó un termohigrómetro digital, el cual se colocó a 1,80 m de altura en cada uno de los tratamientos de sombra para la toma de datos, el registro de los mismos coincidió con las mediciones de intercambio gaseoso.

La diferencia de presión de vapor hoja-aire (DPV) es la diferencia entre la presión de saturación a la temperatura de la hoja y la presión de vapor ambiental. Se calculó mediante la humedad relativa del ambiente y tablas de presión de vapor de saturación (Percy et al. 1989) utilizando la siguiente fórmula:

$DPV = Ph - (Pa * HR / 100)$, donde:

Ph = presión de vapor de saturación a la temperatura de la hoja (Kpa)

Pa = presión de vapor de saturación a la temperatura ambiente (Kpa)

HR = humedad relativa (%)

2.5.4 Parámetros de crecimiento de las plantas.

En cada uno de los individuos que componen los diferentes tratamientos se realizaron mediciones de vigor evaluándose los siguientes parámetros: altura de la planta, diámetro (\emptyset) del tallo a 10 cm sobre el suelo, diámetro (\emptyset) del tallo al nivel del primer verticilo, altura del primer verticilo, cantidad de ramas y número de hojas producidas, desde el inicio del experimento y repitiéndose mensualmente en todas las plantas.

2.5.5 Área foliar específica (AFE).

Es un índice del costo energético o material para la formación de una unidad de superficie foliar y se calculó a través del cociente área foliar / peso foliar (AF / PF). Para su determinación se tomaron 6 hojas ($n = 6$) en diferentes plantas para cada tratamiento, en cada uno de los cursos de medición.

2.5.6 Tasa de crecimiento.

La tasa relativa de crecimiento se calculó mediante el uso de la fórmula:

$R = \ln p_2 - \ln p_1 / t_2 - t_1$, donde:

p_2 y p_1 : son el peso final e inicial respectivamente

t_2 y t_1 : el tiempo final e inicial respectivamente

Para su determinación se seleccionaron 4 plantas provenientes de vivero al azar y realizaron mediciones de materia seca al inicio en plantas de 6 meses de edad y al final del experimento en 4 plantas al azar por cada tratamiento.

2.6 Mediciones de Laboratorio.

2.6.1 Curvas Presión Volumen.

Se construyeron curvas presión – volumen, (tres veces durante el experimento) con intervalos de un mes, coincidiendo la primera con el inicio de toma de datos en el mes de noviembre.

Las curvas se determinaron mediante el uso de la bomba de presión de Scholaender siguiendo el método sugerido por Tyree y Hammel (1972). Se seleccionaron 4 hojas maduras en diferentes individuos (N = 4) por cada tratamiento; inmediatamente fueron sumergidas en un recipiente con agua y recortadas en el extremo del pecíolo para evitar la entrada de burbujas de aire al xilema. Los recipientes se cubrieron con bolsas plásticas para evitar las pérdidas de agua por transpiración, luego fueron trasladados al laboratorio donde se mantuvieron en la oscuridad por un período de 18 horas para permitir la completa saturación de las hojas, después del cual se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- 1) Después de saturadas las hojas, se procedió a realizar un corte en el pecíolo aún dentro del agua.
- 2) Inmediatamente se determinó su peso saturado (peso fresco) y se procedió a insertar el pecíolo en un tapón de goma para así introducirlo en la cámara de presión. La presión dentro de la cámara se aumentó progresivamente inyectando Nitrógeno gaseoso, hasta que se logró la

condición de equilibrio, punto en el cual la presión aplicada a la columna de jugo xilemático alcanza la superficie de corte del pecíolo. El valor de la presión leído en el manómetro de la cámara al momento en que aparece la primera gota de agua en la superficie cortada del pecíolo, se registra como el potencial hídrico del xilema (PHf). Luego se despresurizó la cámara lentamente para evitar daños en el tejido.

- 3) Se extrajo la hoja de la cámara para dejarla transpirar libremente y a medida que las hojas fueron perdiendo agua se realizaron mediciones de potencial hídrico y peso fresco, repitiendo estos pasos hasta que se obtuvieron puntos en la parte lineal de la curva.
- 4) Posteriormente, las hojas se secaron en la estufa a 60°C para determinar su peso seco y contenido de agua total de la hoja (volumen total = peso saturado – peso seco).

Con los datos obtenidos para cada tratamiento, se construyeron los gráficos de las curvas presión – volumen, en los cuales se analizó la relación entre el inverso del potencial hídrico foliar ($1 / \text{PHf}$) y el volumen correspondiente de agua extraída a un potencial hídrico dado. El volumen extraído (V_e) se calculó restando al peso saturado el valor de peso fresco a un determinado a un determinado potencial hídrico.

La curva presión – volumen presenta dos fases: la primera, curvilínea (exponencial negativa) que corresponde a una rápida disminución del potencial de

turgor (PT) a pequeñas pérdidas de agua (expresado en volumen, peso o contenido relativo de humedad) y la segunda, una fase lineal donde la muestra pierde gran cantidad de agua a pequeñas disminuciones en el potencial hídrico total, la cual corresponde al potencial osmótico (PO).

Haciendo un ajuste de la fase lineal de la curva a la ecuación de una recta de la forma $1 / PH_f = a + b (V_e)$, se calcula el potencial osmótico de saturación (Pos) cuando $V_e = 0$. El potencial osmótico en el punto de pérdida de turgor (PO_{pt}) es estimado a través del valor de V_e correspondiente al punto donde la curva se hace lineal. Este valor de volumen extraído en el punto de pérdida de turgor ($V_{e_{pt}}$), se introduce en la ecuación de regresión, para determinar el valor de P_{opt}.

El contenido relativo de humedad y de agua osmótica retenida en el punto de pérdida de turgor (CHR° y Agua°), respectivamente, se calcularon con las siguientes fórmulas:

$$CHR^\circ = (V_t - V_{e_{pt}}) / V_t * 100 \quad \text{y} \quad \text{Agua}^\circ = V_{e_{pt}} / V_o * 100$$

donde:

V_t = Volumen total de agua de la muestra.

$V_{e_{pt}}$ = Volumen extraído en el punto de pérdida de turgor.

V_o = Volumen de agua simplásmica.

2.6.2 Contenido de Nitrógeno y Clorofila foliar.

Del material foliar obtenido de los individuos en cada uno de los tratamientos de luz, se realizaron determinaciones de nitrógeno total por el método de micro Kjeldahl de digestión ácida, destilación y titulación (Bradstreet, 1965). Para esto, se tomo 1 hoja desarrollada (quinta o sexta hoja a partir del último crecimiento) en 3 plantas diferentes para cada tratamiento, las cantidades medidas se expresaron en mg de N total por gramo de peso seco de muestra.

Para la determinación del contenido de clorofila, se tomo 1 hoja desarrollada en 3 plantas diferentes para cada tratamiento; de estas hojas se tomaron discos de la parte central (200 mgs), se les agregó acetona (25 ml) al 80 % (v/v) y se trituraron en un mortero, luego se procedió a filtrar, rescatándose el filtrado en balones volumétricos de 25 ml para las determinaciones de clorofila espectrofotométricamente, a una longitud de onda de 652 nm (Arnon, 1949).

La ecuación utilizada para calcular la concentración de clorofila total es la siguiente: $C = C_a + C_b = 0,0202 D_{645} + 0,00802 D_{663}$

Donde C_a y C_b , son los gramos por litro de clorofila a y b, respectivamente, D las densidades ópticas en las longitudes de onda respectivas y C la clorofila total. Para la determinación de la clorofila total, se grafican los datos para la absorción de la clorofila a y b, estos presentan una intersección a 652 nm. Extrapolando, se

tiene que el valor del coeficiente de absorción específica para esta longitud de onda fue de 34,5, planteándose la siguiente ecuación:

$$D_{652} = 34,5 Ca + 34,5 Cb$$

$$D_{652} = 34,5 (Ca + Cb)$$

$$(Ca + Cb) = D_{652} / 34,5$$

$$C = D_{652} \times Ve / 34,5 \times P$$

Donde: Ve , es el volumen extraído expresado en litros y P el peso fresco de la muestra en gr.

3. Resultados

3.1 Intercambio gaseoso.

Cursos diarios de variables microclimáticas y respuesta de las plantas bajo diferentes intensidades de luz.

Los resultados de los cinco cursos de medición de variables microclimáticas y de intercambio gaseoso, realizados en *Theobroma cacao*, cultivar Guasare entre noviembre de 2001 y marzo de 2002, se presentan resumidos en el anexo A. Para discernir sobre el efecto de los diferentes tratamientos de sombra en el cacao criollo Guasare se aplicó a los datos un análisis de varianza de una vía.

En los cinco cursos de medición se detectaron diferencias significativas ($p < 0,0001$) para los diferentes tratamientos de luz (100%, 60%, 40% y 20%) y no hubo respuesta en la interacción sombra - fertilización, para los dos niveles de fertilización utilizados.

En la figura 3 y tabla 1 se muestran los valores promedio horarios y promedios diarios (respectivamente), de variables microclimáticas y de respuesta de las plantas creciendo bajo diferentes tratamientos de luz, correspondientes al primer mes de tratamiento (septiembre de 2000) y séptimo de crecimiento.

En todos los tratamientos la temperatura foliar y el DPV máximo, se alcanzaron en las horas del medio día (entre 11:00 y 13:00), período por lo general de máxima radiación y temperatura del aire, siendo mayores a plena exposición en comparación con el resto de los tratamientos.

Se observa una diferencia de temperatura foliar de alrededor de 2 °C mayor, en horas del medio día entre el tratamiento a plena exposición con respecto al de 20% de luz, a pesar de que la RFA es cuatro veces mayor en el primero. Los valores de transpiración a 20, 40, y 60% de luz, son menores y similares entre sí, en comparación a los de plena exposición, lo que pudo haber causado incrementos en la temperatura foliar de estos tratamientos.

A pesar de las diferencias en RFA, la temperatura foliar y el DPV son similares en los cuatro tratamientos. Con relación a la RFA se pueden diferenciar claramente tres tratamientos: plena exposición, 60 % de luz y un tercero conformado por los tratamientos de 40 y 20 % de luz donde los valores son similares.

Los menores valores de potencial hídrico se alcanzan en horas del medio día para todos los tratamientos, siendo más negativos a plena exposición (-1,54 MPa). La conductancia estomática presenta valores muy bajos y similares (13,8 a 17,5 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{s}$) en los diferentes tratamientos, sin embargo se observa una leve tendencia a mayores pérdidas de agua a plena exposición (Tabla 1).

Tabla N° 1 Valores promedio mensuales de variables microclimáticas e intercambio gaseoso en cacao criollo Guasare: temperatura foliar (Tf), diferencia de presión de vapor hoja - aire (DPV), radiación fotosintéticamente activa (RFA), transpiración (E), conductancia estomática (Gs), fotosíntesis (A) y potencial hídrico foliar mínimo (ψ_f).

Fecha	Trata.	Tf (°C9)	D S +	DPV (KPa)	D S +	RFA ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{ s}$)	D S +	E ($\text{mmol}/\text{m}^2\text{ s}$)	D S +	Gs ($\text{mmol}/\text{m}^2\text{ s}$)	D S +	A ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{ s}$)	D S +	ψ_f (MPa)	D S +
30-Nov-00	100%	29,2	3,0	2,12	0,51	1567	512	1,21	0,60	17,5	14,0	1,58	0,81	-1,54	0,61
	60%	27,3	3,1	1,71	0,51	1063	392	0,92	0,43	15,1	11,5	2,39	0,91	-1,05	0,54
	40%	27,5	2,6	1,79	0,45	712	289	0,71	0,33	13,8	12,1	2,41	0,76	-1,25	0,69
	20%	28,0	3,0	1,87	0,47	542	264	0,75	0,39	16,9	18,2	2,06	0,73	-1,15	0,71
20-Dic-00	100%	26,2	2,7	1,39	0,41	810	564	0,86	0,69	22,6	33,9	2,23	0,94	-1,00	0,20
	60%	24,3	2,5	1,22	0,36	569	347	0,71	0,43	15,5	18,0	2,57	0,95	-0,75	0,06
	40%	24,0	1,7	1,17	0,22	335	128	0,77	0,56	17,5	18,1	2,82	0,81	-0,77	0,12
	20%	24,2	1,6	1,21	0,26	301	124	0,68	0,66	17,1	20,6	2,95	0,94	-0,77	0,10
31-Ene-01	100%	28,5	2,5	2,32	0,61	1627	482	1,41	0,90	26,3	32,6	3,13	0,84	-1,28	0,26
	60%	26,6	2,7	1,83	0,42	891	306	0,84	0,47	14,4	13,6	3,04	0,98	-1,13	0,21
	40%	26,3	2,3	1,85	0,37	586	266	0,64	0,32	11,2	12,3	2,93	0,96	-1,15	0,28
	20%	26,8	3,1	1,98	0,48	557	339	0,54	0,27	8,5	11,6	2,79	1,11	-0,98	0,20
22-Feb-01	100%	25,6	3,3	1,53	0,56	1156	785	1,33	0,72	35,8	17,0	2,63	1,08	-1,42	0,19
	60%	23,9	2,8	1,21	0,50	709	440	0,87	0,33	27,8	11,8	2,87	0,75	-1,30	0,20
	40%	24,4	2,7	1,32	0,50	518	320	0,790	0,262	30,2	19,1	2,54	0,87	-1,23	0,23
	20%	24,4	2,4	1,28	0,37	458	325	0,74	0,30	31,3	24,5	2,50	1,21	-1,23	0,20
22-Mar-01	100%	28,0	1,9	1,56	0,30	766	353	0,67	0,35	17,2	11,1	1,93	0,88	-1,52	0,32
	60%	27,4	1,8	1,58	0,24	530	247	0,61	0,28	17,1	9,6	2,17	0,93	-1,37	0,18
	40%	28,1	2,5	1,92	0,60	374	179	0,51	0,25	15,4	15,3	2,00	0,88	-1,08	0,19
	20%	27,2	2,2	1,64	0,37	363	214	0,44	0,28	18,0	24,7	1,31	0,71	-1,01	0,22

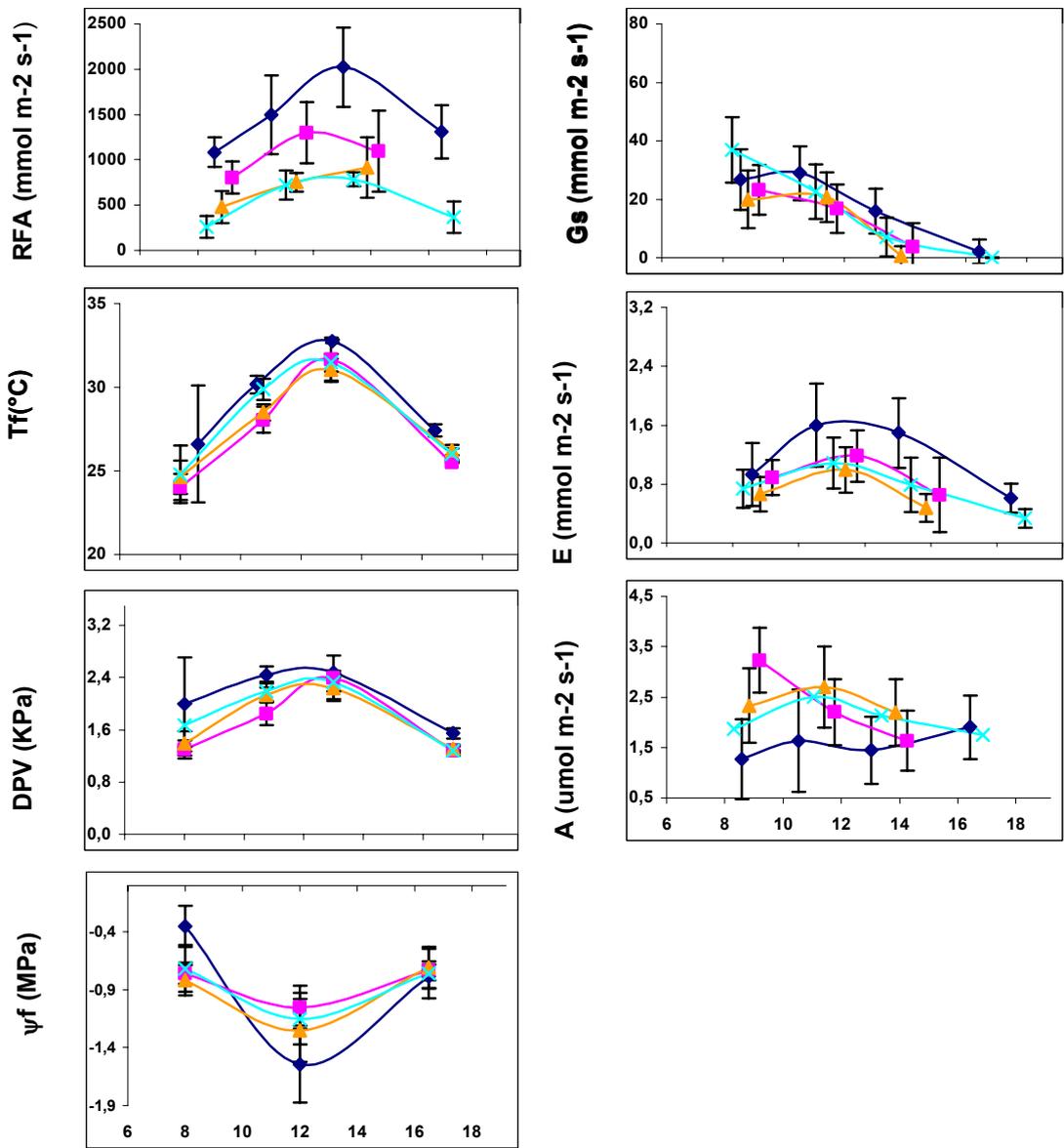


Figura N° 4 Curso diario de radiación fotosintéticamente activa (PAR), temperatura foliar (Tf), diferencia de presión de vapor hoja - aire (DPV), potencial hídrico foliar (ψ_f), conductancia estomática (Gs), tasa de transpiración (E) y asimilación de CO₂ (A). Realizados durante el mes de noviembre de 2000. Plena exposición —, 60% luz, —, 40% luz — y 20% luz —.

Durante este primer mes de medición, los valores de asimilación son más bajos en el tratamiento a plena exposición (promedio 1,58 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$) en comparación con los de 60, 40 y 20 % de luz, donde los valores son mayores y similares (promedio 2,39; 2,41; 2,06, respectivamente).

En el segundo mes de medición (figura 4) se presentaron valores de RFA más bajos, en comparación con el mes anterior y se continuó diferenciando tres tratamientos. La temperatura foliar y el DPV alcanzan mayores valores en el tratamiento a plena exposición; se observó una disminución en la temperatura foliar de los tratamientos de 40 y 20 % de luz en horas del medio día, producto del incremento en la transpiración.

El potencial hídrico se hizo menos negativo en comparación con el mes anterior, presentando los valores más bajos en horas del medio día en las plantas a plena exposición (promedio -1,0 Mpa). Los valores de Gs en horas del medio día, son mayores en plantas bajo condiciones de 40 y 20 % de luz, lo que incrementó las pérdidas de agua en estos tratamientos (Tabla 1).

Los valores de asimilación se incrementan para todos los tratamientos en relación con el primer mes de observación, obteniéndose los valores más altos para los tratamientos de 40 y 20 % de luz en horas del medio día a una RFA aproximadamente dos veces menor en comparación con el tratamiento a plena exposición donde se obtuvo los valores más bajos.

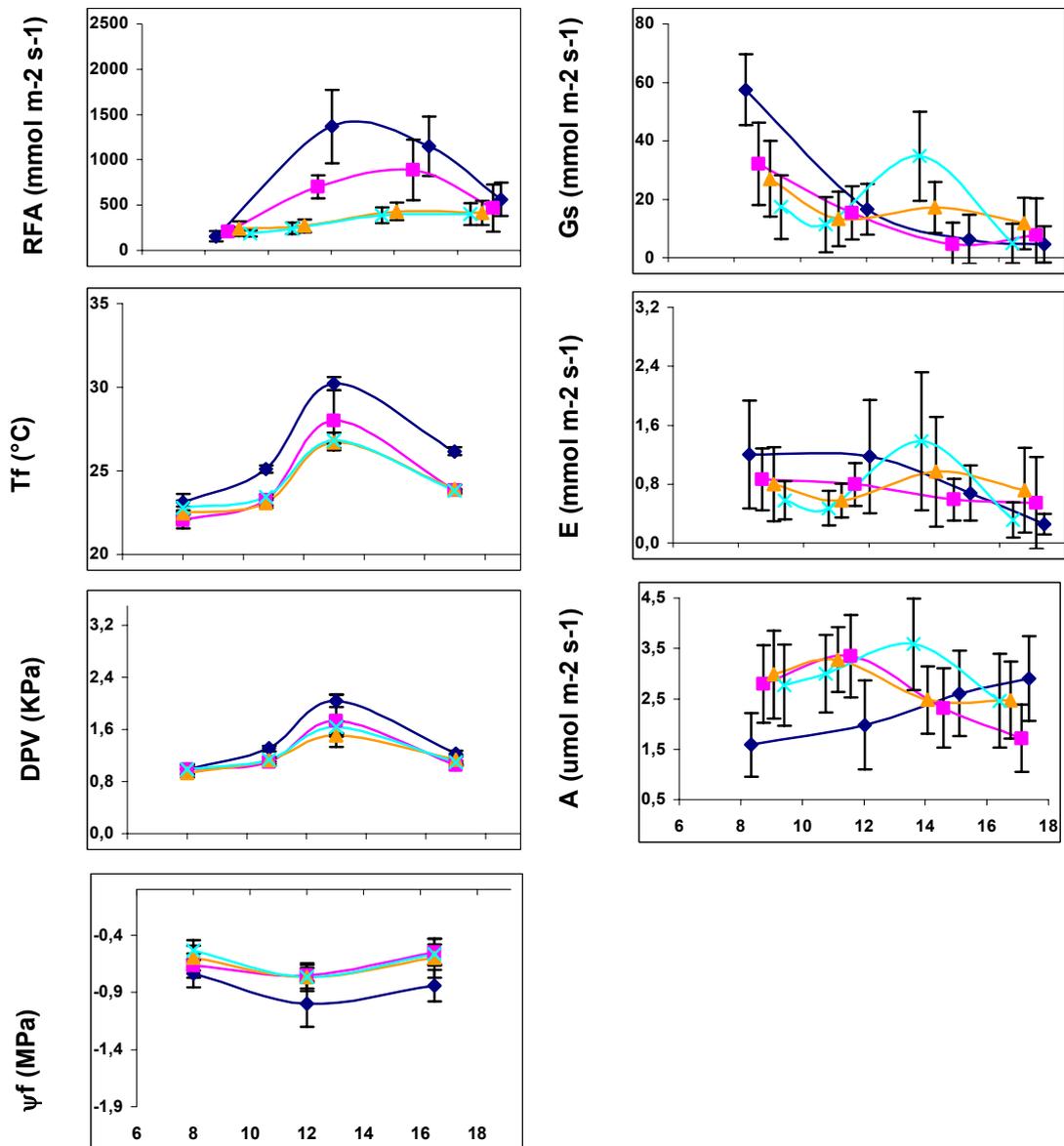


Figura N° 4 Curso diario de radiación fotosintéticamente activa (PAR), temperatura foliar (Tf), diferencia de presión de vapor hoja - aire (DPV), potencial hídrico foliar (ψ_f), conductancia estomática (Gs), tasa de transpiración (E) y asimilación de CO₂ (A). Realizados durante el mes de diciembre de 2000. Plena exposición —, 60% luz, —, 40% luz — y 20% luz —.

Durante el mes de enero, octavo mes de crecimiento y tercero de medición (figura 5), los valores de temperatura foliar y DPV son mayores a plena exposición en horas de la mañana en comparación con los tratamientos con sombra. Después de las horas del medio día, la temperatura foliar a 20, 40 y 60 % de luz se incrementa producto de la disminución en los valores de E.

El potencial hídrico foliar (ψ_f) es más negativo en el tratamiento a plena exposición (-1,28 MPa) durante las horas del medio día, se observó un incremento del (ψ_f) en comparación con el mes anterior. La Gs es dos veces mayor a primeras horas de la mañana para el tratamiento a plena exposición y en horas del medio día, se produjo un descenso de la misma; sin embargo, se mantiene la tendencia a mayores pérdidas de agua en este tratamiento.

Los valores promedio de asimilación durante este mes, son similares en todos los tratamientos y mayores en comparación con los dos primeros cursos de medición (noviembre y diciembre), donde las plantas a plena exposición, presentaron valores más bajos de A, con respecto a los tratamientos con sombra. Se observa una evidente respuesta de aclimatación de las plantas a los ambientes más expuestos (Tabla 1).

En la figura 6, correspondiente al cuarto mes de medición y noveno de crecimiento, la temperatura foliar y el DPV son mayores en el tratamiento a plena exposición. Se observa una diferencia aproximada de 3 °C, en la temperatura

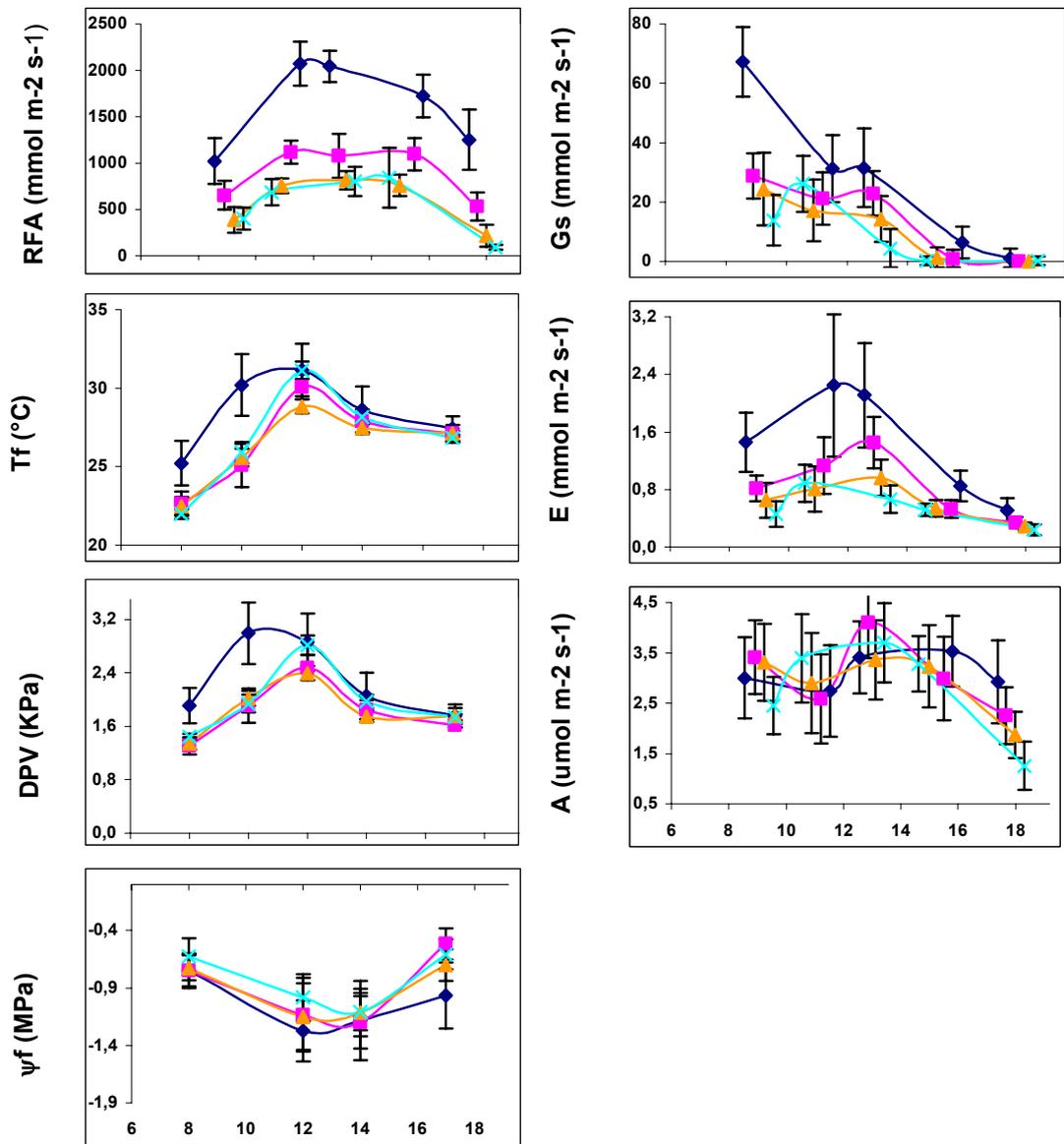


Figura N° 5 Curso diario de radiación fotosintéticamente activa (PAR), temperatura foliar (Tf), diferencia de presión de vapor hoja - aire (DPV), potencial hídrico foliar (ψ_f), conductancia estomática (Gs), tasa de transpiración (E) y asimilación de CO₂ (A). Realizados durante el mes de enero de 2000 . Plena exposición — , 60% luz , 40% luz — y 20% luz — .

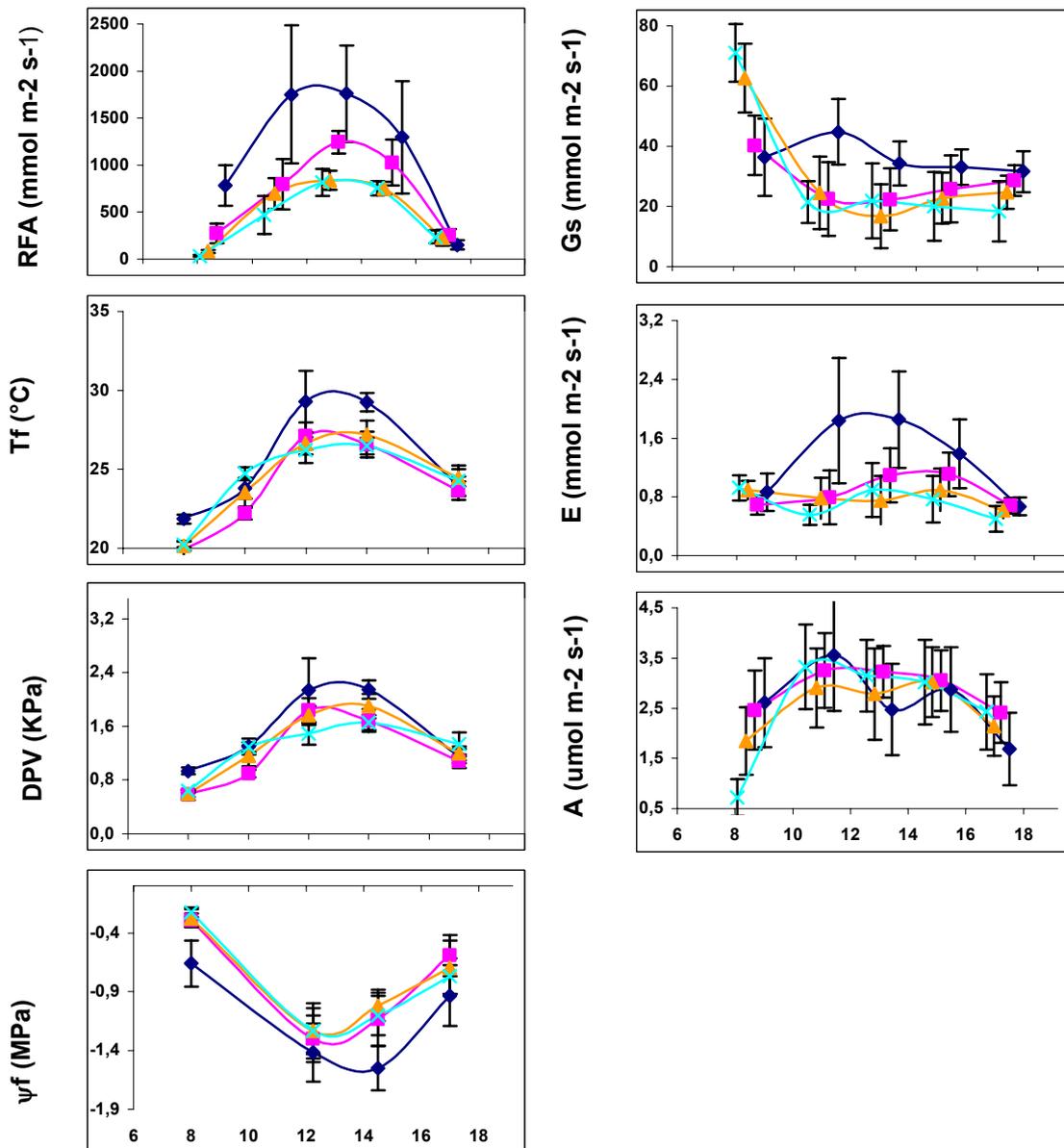


Figura N° 6 Curso diario de radiación fotosintéticamente activa (PAR), temperatura foliar (Tf), diferencia de presión de vapor hoja - aire (DPV), potencial hídrico foliar (ψ_f), conductancia estomática (Gs), tasa de transpiración (E) y asimilación de CO₂ (A). Realizados durante el mes de febrero de 2000. Plena exposición — , 60% luz , 40% luz — y 20% luz —.

foliar en horas del medio día entre el tratamiento de plena exposición y 20 % luz. La E es menor en 20, 40 y 60 % de luz.

El potencial hídrico foliar de las plantas a plena exposición, con respecto a los tratamientos con sombra, es más negativo durante todo el día, registrándose el valor más bajo (promedio -1,42 MPa) en horas del medio día. La conductancia estomática se comporta de manera similar que en el primer y tercer mes de medición, donde se observa una tendencia a mayores pérdidas de agua en este tratamiento.

Con respecto a la asimilación, también se observa un comportamiento similar al mes anterior donde los valores para todos los tratamientos son similares, evidenciándose nuevamente, la respuesta de aclimatación.

Durante el mes de marzo, quinto mes de medición y décimo de crecimiento de las plantas (figura 7), las condiciones del día fueron nubladas, los valores de temperatura foliar y DPV resultaron ser similares para todos los tratamientos y el potencial hídrico foliar en horas del medio día, fue más negativo (-1,52) en las plantas a plena exposición. Los valores de Gs son muy bajos y similares entre sí, sin embargo, se observa una tendencia a mayor pérdida de agua en el tratamiento a plena exposición y 60 % de luz (Tabla 1). Los menores valores de E hacen que se incremente la temperatura foliar en los tratamientos de 40 y 20% de luz.

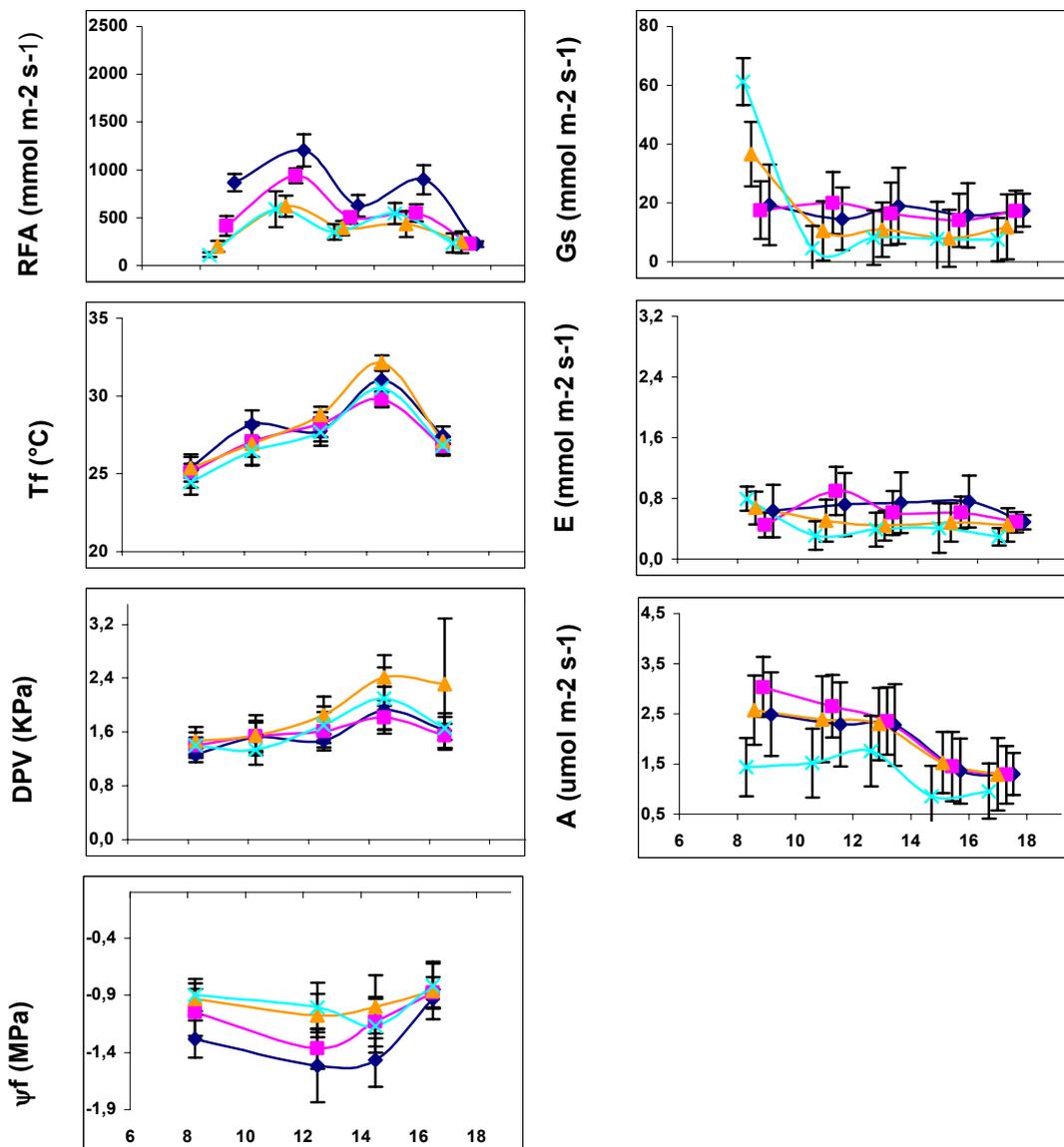


Figura N° 7 Curso diario de radiación fotosintéticamente activa (PAR), temperatura foliar (Tf), diferencia de presión de vapor hoja - aire (DPV), potencial hídrico foliar (ψ_f), conductancia estomática (Gs), tasa de transpiración (E) y asimilación de CO₂ (A). Realizados durante el mes de marzo de 2000. Plena exposición —, 60% luz —, 40% luz — y 20% luz —.

Durante este curso la A presentó valores muy similares a plena exposición, 60 y 40% de luz, en comparación con el tratamiento de 20 % de luz donde el promedio fue de 1,31 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$ (Tabla 1).

En todos los tratamientos, para la transpiración (E) y la conductancia (Gs), se observó que los valores promedio para cinco cursos de Gs oscilan entre 18,3 – 24,8 $\text{mmol} / \text{m}^2 \text{ s}$ y la variable transpiración, alcanza los valores más altos a plena exposición (promedio para cinco cursos 1,13 $\text{mmol} / \text{m}^2 \text{ s}$). En los demás tratamientos, esta variable disminuye a medida que se incrementa la sombra, siendo muy similar en los tratamientos de 40% y 20% de luz (promedio para cinco cursos de medición, 40% E prom. 0,78 $\text{mmol} / \text{m}^2 \text{ s}$, 60% E prom. 0,68 $\text{mmol} / \text{m}^2 \text{ s}$, 80% E prom. 0,62 $\text{mmol} / \text{m}^2 \text{ s}$), (tabla 2), no se observa una relación muy clara entre las variables la Gs y E, (Figura 8).

En todos los cursos y para cada tratamiento, la transpiración tiende a seguir la marcha del DPV en un estrecho intervalo de valores, que por lo general siempre resulto ser mayor a plena exposición (0,67 – 1,41 $\text{mmol} / \text{m}^2 \text{ s}$) en comparación con los tratamientos bajo sombra, donde los valores promedio mensuales oscilaron entre 0,44 y 0,92 $\text{mmol} / \text{m}^2 \text{ s}$ (Tabla 1), y el DPV máximo, por lo general, no sobrepasa los 2,4 Kpa.

Tabla N° 2 Valores promedio de variables microclimáticas e intercambio gaseoso en cacao criollo Guasare: temperatura foliar (Tf), diferencia de presión de vapor hoja - aire (DPV), radiación fotosintéticamente activa (RFA), transpiración (E), conductancia estomática (Gs), fotosíntesis (A) y potencial hídrico foliar mínimo (PHf). Datos correspondientes a cinco periodos de medición.

Trata.	Tf (°C9)	D S +	DPV (KPa)	D S +	RFA ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{ s}$)	D S +	RFA medio día ($\text{mmol}/\text{m}^2\text{ s}$)	D S +	E ($\text{mmol}/\text{m}^2\text{ s}$)	D S +	Gs ($\text{mmol}/\text{m}^2\text{ s}$)	D S +	A ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{ s}$)	D S +	ψ_f (MPa)	D S +
100%	27,5	3,0	1,79	0,61	1202	669	1845	496	1,13	0,76	24,8	25,3	2,41	1,07	-1,35	0,33
60%	25,9	3,0	1,52	0,48	739	396	939	60	0,78	0,41	18,3	13,9	2,63	0,96	-1,12	0,28
40%	26,1	2,8	1,62	0,54	496	279	685	224	0,68	0,36	18,0	17,2	2,53	0,93	-1,11	0,28
20%	26,1	2,9	1,60	0,50	406	290	629	259	0,62	0,41	18,3	21,8	2,34	1,14	-1,03	0,24

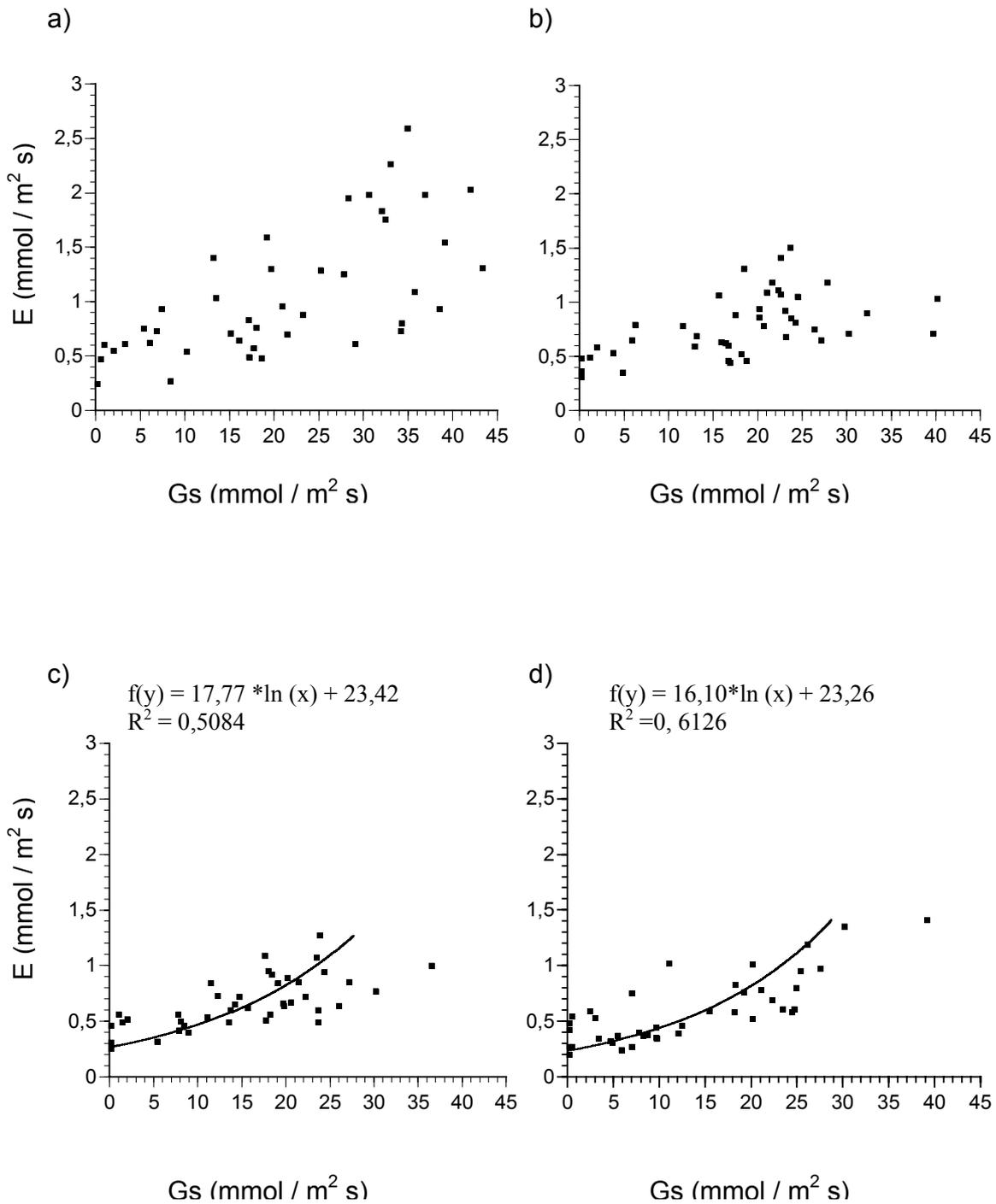


Figura 8. Relación entre la tasa de transpiración (E) y la conductancia estomática (Gs) en cacao criollo Guasare. Datos correspondientes a cinco cursos de medición. a) Plena exposición; b) 60% luz, c) 40% luz y d) 20% luz.

En la figura 9 y 10 respectivamente, se muestra la relación entre los promedios diarios de E vs. DPV y G_s vs. DPV para los diferentes tratamientos; se puede observar que a pesar de la dispersión de los puntos, se mantiene una tendencia en los valores para estas variables dentro de los rangos señalados anteriormente. Evidenciando que no hay un control estomático muy sensible a los cambios en la demanda evaporativa del ambiente que permita un control de las pérdidas de agua por transpiración.

El potencial hídrico foliar máximo medido durante las primeras horas de la mañana (8:00 y 8:30) y que es indicativo del estatus hídrico de la planta (período de máxima hidratación), fue menos negativo y muy similar en promedio para los tratamientos de 20% y 40% de luz (-0,60 y -0,67 MPa), en comparación con el de 60% de luz y plena exposición, donde se registraron los valores promedio más negativos y similares entre sí (-0,70 y -0,76 MPa respectivamente) tabla 3.

El potencial hídrico foliar para todos los tratamientos disminuyó durante las horas de la mañana, obteniéndose valores mínimos hacia el mediodía, período por lo general de mayor demanda evaporativa. A plena exposición el potencial hídrico foliar alcanzó los valores promedio más negativos (-1,35 MPa) en comparación con los tratamientos de 60% y 40% de luz donde son muy similares (-1,12 y -1,10 MPa respectivamente) y con el tratamiento de 20% de luz, en el cual se obtuvo los valores menos negativos (-1,03 MPa) (Tabla 3).

$$f(y) = 1,504600 * x + 0,000$$

$$R^2 = 0,455$$

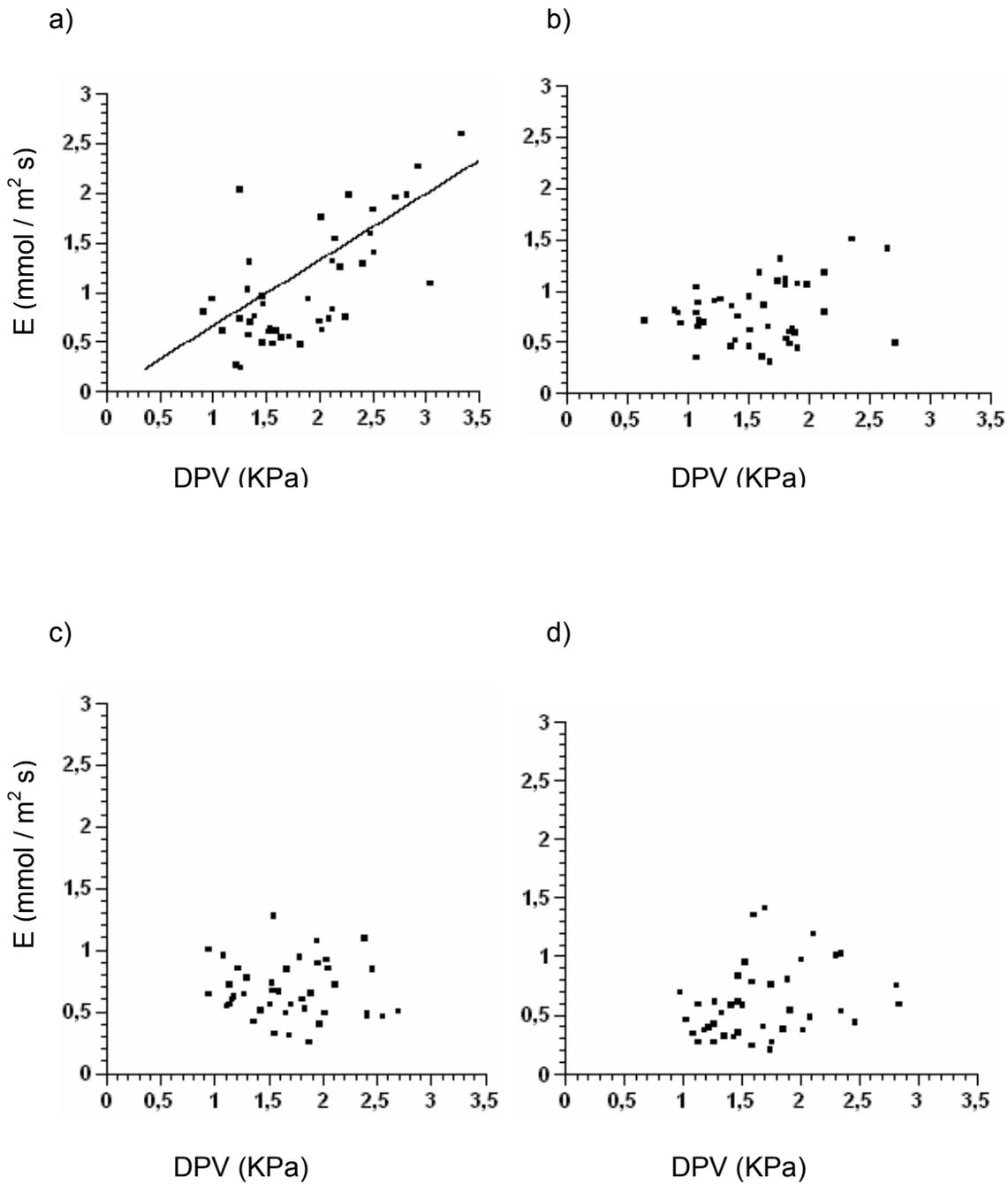


Figura 9. Relación entre la tasa de transpiración (E) y la diferencia de presión hoja aire (DPV), en cacao criollo Guasare. Datos correspondientes a cinco cursos de medición. a) Plena exposición; b) 60% luz, c) 40% luz y d) 20% luz.

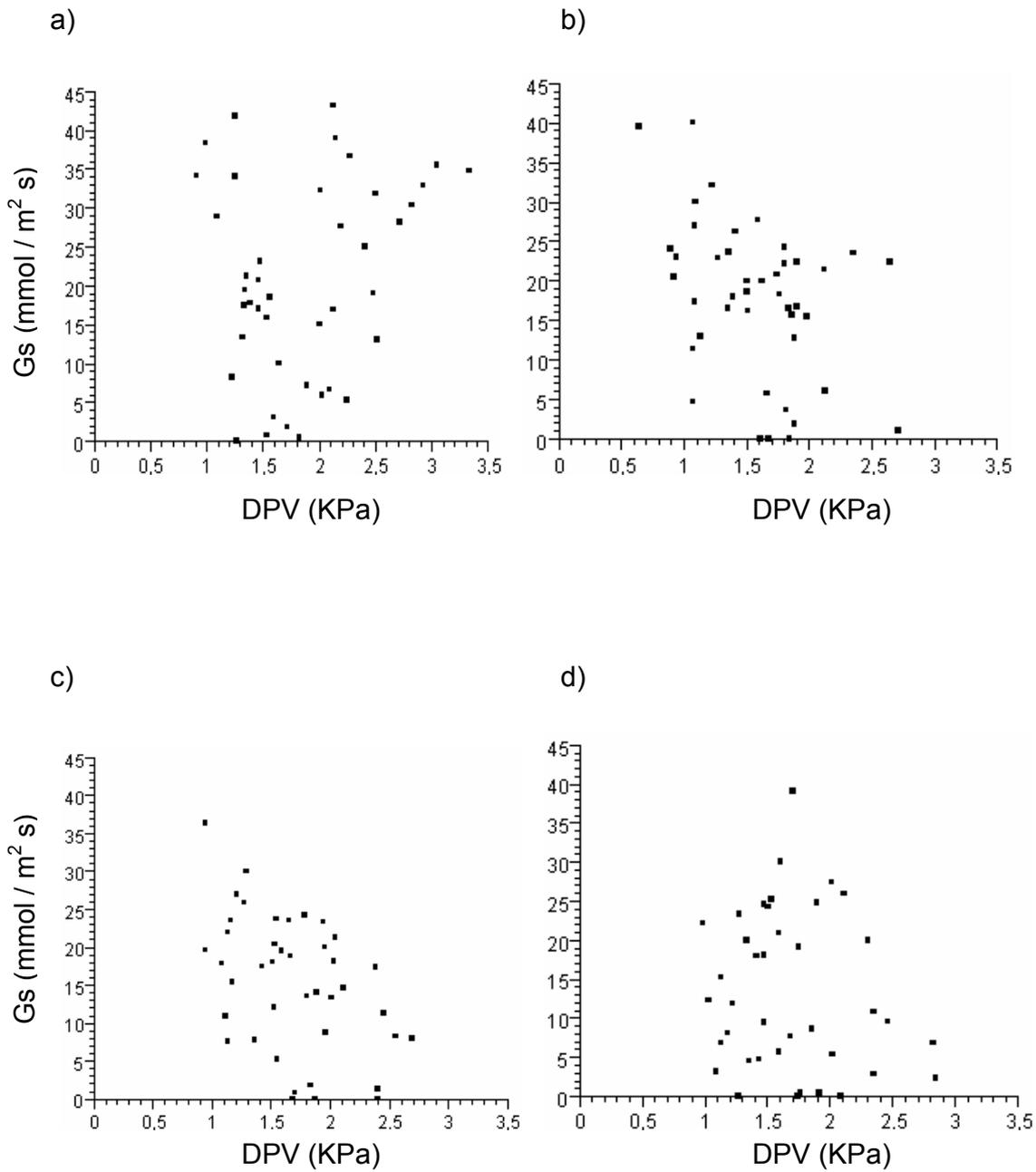


Figura 10. Relación entre la conductancia estomática (G_s) y la diferencia de presión hoja aire (DPV) en cacao criollo Guasare. Datos correspondientes a cinco cursos de medición. a) Plena exposición; b) 60% de luz, c) 40% de luz y d) 20% de luz.

Tabla N° 3 Valores promedio por curso y para los cinco meses de observación (total), de potencial hídrico foliar máximo (ψ_f max) y mínimo (ψ_f min), en cacao criollo Guasare para los diferentes tratamientos de luz.

100%				
Fecha	ψ_f max (MPa)	DS +	ψ_f min (MPa)	DS +
30-nov-00	-0,35	0,18	-1,54	0,33
20-dic-00	-0,73	0,13	-1,00	0,20
31-ene-01	-0,75	0,14	-1,28	0,26
22-feb-01	-0,66	0,20	-1,42	0,25
20-mar-01	-1,28	0,16	-1,52	0,32
Promedio	-0,76	0,34	-1,35	0,33

60%			
ψ_f máx. (MPa)	DS +	ψ_f min (MPa)	DS +
-0,76	0,09	-1,05	0,19
-0,67	0,11	-0,75	0,06
-0,75	0,15	-1,13	0,32
-0,29	0,06	-1,30	0,20
-1,05	0,21	-1,37	0,18
-0,70	0,28	-1,12	0,29

40%				
Fecha	ψ_f max	DS	ψ_f min	DS
30-nov-00	-0,82	0,13	-1,25	0,27
20-dic-00	-0,60	0,11	-0,77	0,12
31-ene-01	-0,73	0,11	-1,15	0,29
22-feb-01	-0,28	0,08	-1,23	0,23
20-mar-01	-0,93	0,14	-1,08	0,19
Promedio	-0,67	0,25	-1,10	0,28

20%			
ψ_f máx.	DS	ψ_f min	DS
-0,72	0,20	-1,15	0,22
-0,53	0,09	-0,77	0,10
-0,63	0,16	-0,98	0,20
-0,23	0,04	-1,23	0,20
-0,90	0,14	-1,01	0,22
-0,60	0,26	-1,03	0,24

Durante el desarrollo del experimento no se registraron, en ninguno de los tratamientos, valores de potencial hídrico foliar cercanos al punto de pérdida de turgor, el cual se encuentra alrededor de -2,2 MPa (Tablas 4 y 5); esto nos permite inferir que bajo las condiciones en las cuales se realizó el ensayo, (riego controlado, manteniendo la humedad del suelo a capacidad de campo), la regulación del balance hídrico en las plantas en los diferentes tratamientos, no está limitado por la disponibilidad de agua en el suelo. Después de las horas del mediodía, se observa una tendencia de recuperación del potencial hídrico foliar en todos los tratamientos.

Tabla 4. Variaciones mensuales de los parámetros obtenidos a partir de las curvas presión – volumen, bajo los diferentes tratamientos de luz, potencial osmótico de saturación (Po. Sat.) y potencial osmótico en el punto de pérdida de turgor (Po. TLP).

Fecha	Tratamiento	Po Sat (MPa)	DS \pm	Po TLP (MPa)	DS \pm	% H ₂ O	DS \pm
30-nov-00	100%	-2,041	0,311	-2,425	0,300	15,976	4,778
31-ene-01		-1,551	0,383	-2,063	0,311	24,641	10,387
22-mar-01		-1,476	0,550	-2,375	0,219	30,325	8,987
30-nov-00	60%	-1,910	0,119	-2,506	0,186	23,453	7,311
31-ene-01		-1,394	0,117	-1,825	0,053	23,876	4,815
22-mar-01		-1,792	0,347	-2,500	0,239	28,833	8,558
30-nov-00	40%	-1,968	0,285	-2,425	0,368	18,883	4,106
31-ene-01		-1,476	0,169	-2,025	0,373	25,541	11,620
22-mar-01		-1,447	0,584	-2,188	0,318	24,357	6,615
30-nov-00	20%	-1,942	0,562	-2,400	0,610	19,968	8,214
31-ene-01		-1,727	0,275	-2,125	0,243	18,776	8,481
22-mar-01		-1,448	0,388	-2,088	0,230	31,188	13,735

Tabla 5. Datos promedio de los parámetros obtenidos de las curvas presión - volumen, bajo los diferentes tratamientos de luz, potencial osmótico de saturación (Po Sat) y potencial osmótico en el punto de pérdida de turgor (Po TLP).

Tratamiento	Po Sat (MPa)	DS \pm	Po TLP (MPa)	DS \pm	% H ₂ O	DS \pm
100%	1,689	-0,481	-2,288	0,314	23,647	10,034
60%	1,699	-0,310	-2,277	0,368	25,387	7,200
40%	1,630	-0,444	-2,213	0,378	22,927	8,266
20%	1,706	-0,456	-2,204	0,409	23,311	11,509

En la tabla 2 se resumen los resultados de radiación fotosintéticamente activa, realizados en los diferentes tratamientos durante los cinco cursos de medición. A plena exposición la radiación fotosintéticamente activa (400 – 700 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$) promedio fue de 1202 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$ y alcanzó un valor máximo promedio de 1845 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$ durante las horas del mediodía (12:00 y 13:00). Para el tratamiento de 60% de luz la radiación fotosintéticamente activa promedio fue de 739 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$, lo que representa el 61% de RFA a plena exposición, presentando un valor máximo promedio de 939 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$ hacia el mediodía; en el tratamiento de 40% de luz la radiación fotosintéticamente activa promedio fue de 496 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$ lo que corresponde al 41 % de RFA a plena exposición, alcanzando un valor máximo promedio de 685 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$ en las horas del mediodía. La RFA promedio a 20% de luz, fue de 406 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$ lo que corresponde a un 34 % de RFA a plena exposición y alcanzó un promedio máximo de 629 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$ durante horas del mediodía.

Durante los diferentes cursos de medición se registraron bajas tasas fotosintéticas, obteniéndose valores muy similares en todos los tratamientos, a pesar de los diferentes niveles de RFA a los que fueron expuestas las plantas. En el primer curso el valor promedio más bajo de fotosíntesis, se observó en los tratamientos a plena exposición y 20 % de luz (1,58 y 2,06 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$, respectivamente), en comparación con los tratamientos de 40% y 60% luz donde estos valores fueron menores y muy similares entre sí (2,41 y 2,39 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$, respectivamente); para el segundo, tercer y cuarto mes, las tasas de fotosíntesis

fueron muy similares en todos los tratamientos y en el quinto curso la menor tasa de fotosíntesis se registró en el tratamiento de 20% de luz debido a la baja RFA que se registró para ese día, mientras que para el resto de los tratamientos la tasa fotosintética presenta valores promedio similares.

En los diferentes cursos diarios, en todos los tratamientos, la fotosíntesis tiende a seguir la marcha de RFA a lo largo del día, alcanzándose las tasas máximas promedio mayores para los cinco cursos en los tratamientos de 60% y 40% de luz (2,63 y 2,53 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$, respectivamente) y las menores tasas máximas en los tratamientos de plena exposición y 20% de luz (2,41 y 2,34 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$, respectivamente), tabla 2.

En la figura 11, se muestra la relación entre la tasa de fotosíntesis y RFA correspondiente a los cinco cursos diarios de medición, en cacao criollo Guasare creciendo en campo bajo diferentes tratamientos de luz. La curva para el tratamiento a plena exposición se construyó a partir de valores de A y RFA para un rango de valores de Gs entre 10 y 45 $\text{mmol} / \text{m}^2 \text{ s}$. A pesar de que el ajuste no es muy bueno en todos los tratamientos, se puede observar una tendencia bajo condiciones de plena exposición y 20% de luz, a alcanzar tasas máximas entre 2,8 y 3,4 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$, llegando a la saturación lumínica, alrededor de 200 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$, los puntos de compensación de luz obtenidos fueron muy bajos (menores de 6 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$) y similares a los de plantas de sombra.

$$Y = M * (-4,622 + X) / (-4,622 + X + 158,1)$$

$$R^2 = 0,5708$$

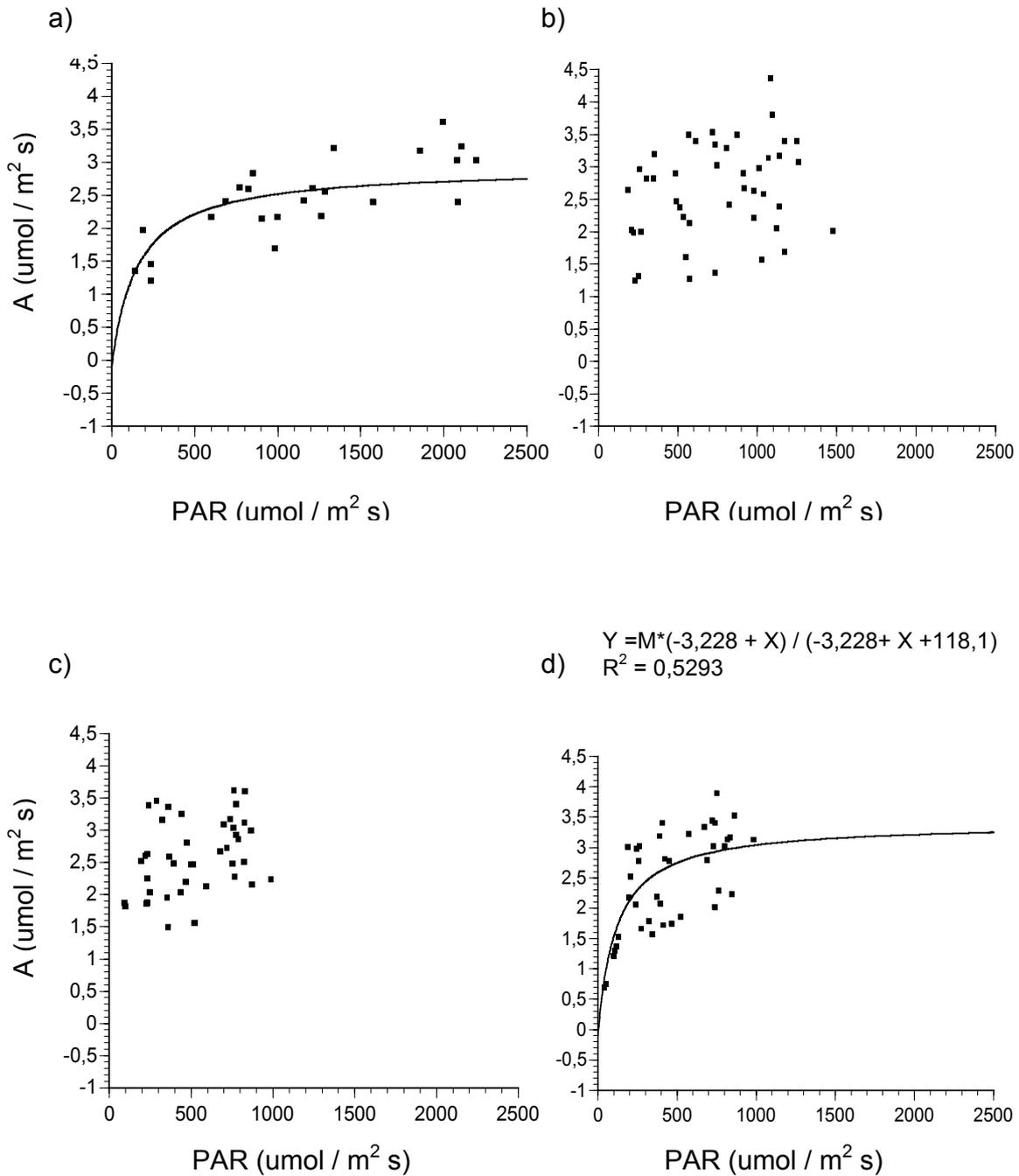


Figura 11. Relación entre asimilación (A) y radiación fotosintéticamente activa (RFA), en cacao criollo Guasare creciendo bajo diferentes tratamientos de luz: a) plena exposición, b) 60%, c) 40% y d) 20%. Datos correspondientes a cinco cursos de medición.

3.2 Crecimiento.

Los resultados de medición de vigor, producción de hojas, área foliar específica (AFE) y materia seca (MS), realizados entre noviembre de 2001 y marzo de 2002 en *Theobroma cacao*, cultivar Guasare, se presentan resumidos en tablas del anexo B. Para discernir sobre el efecto de los diferentes tratamientos de luz y fertilización en el cacao criollo Guasare se aplicó un análisis de varianza de dos vías.

En los cinco cursos de medición de vigor realizados se detectaron diferencias significativas ($p < 0.0001$) en los diferentes tratamientos de luz, para la altura de la planta (A), diámetro del tronco a 10 cm. de altura (\emptyset T) y producción de hojas (PH) y sólo hubo respuesta en la interacción sombra - fertilización, para la variable altura de planta.

La mayor altura promedio se alcanzó en los tratamientos de 20 % y 40 % de luz en ambos tratamientos de fertilización, siendo mayor la altura en las plantas con fertilización alta. Para 60 % de luz se observó un menor crecimiento en comparación a los dos tratamientos anteriores pero mayor que a plena exposición, expresándose también una mayor altura en las plantas con alta fertilización (tabla 6).

Tabla N° 6 Datos experimentales (promedio) de crecimiento, para cinco cursos de medición de altura (A), diámetro del tallo a 10 cm. de altura (D) y cantidad de hojas, al final del experimento en cacao criollo Guasare.

Tratamiento	A (cm.)	DS ±	D (cm)	DS ±	Hojas	DS ±
100%b1	63,67	12,99	1,02	0,14	12	6,0
100%b2	55,88	10,93	0,93	0,12	11	2,9
60%b1	71,10	15,11	1,00	0,12	20	8,2
60%b2	77,26	12,14	1,03	0,14	20	6,5
40%b1	76,58	16,19	1,05	0,13	24	9,5
40%b2	80,77	14,33	1,04	0,12	24	8,1
20%b1	79,83	11,15	1,09	0,15	26	7,4
20%b2	75,52	17,14	1,06	0,16	23	8,6

Las menores alturas promedio se encontraron en el tratamiento sin sombra (plena exposición), donde las plantas de cacao Guasare muestran una reducción acentuada de la elongación de los entrenudos (figura 12), caso contrario de los tratamientos de 20 % 40 % y 60 % de luz; donde la elongación de los entrenudos es muy similar. Esta disminución en crecimiento se hace evidente en el tratamiento a plena exposición a partir del primer mes de mediciones de vigor (diciembre). En la figura 13 se observa como disminuye el crecimiento en este tratamiento, en comparación con el resto, donde se produjo un continuo incremento.

El diámetro del tallo, es una medida de vigor que expresa la capacidad productiva a futuro de las plantas de cacao. El mayor promedio de esta medida, se encontró en los tratamientos de 20 % y 40 % de luz y el menor a de 60 % de luz y

plena exposición, respectivamente. En la figura 14 se presenta el incremento promedio acumulado en diámetro, de las plantas bajo los diferentes tratamientos.

a)



b)



Figura 12. Detalle de la elongación de los entrenudos en cacao criollo Guasare, creciendo bajo el tratamiento a plena exposición (a) y bajo tratamiento de sombra (b).

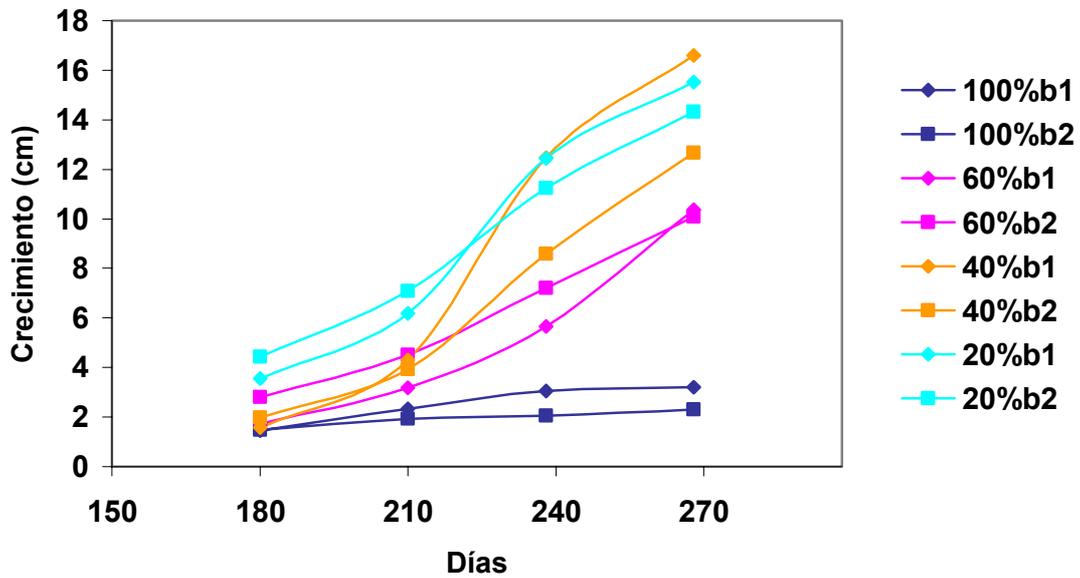


Figura 13 Curva de crecimiento en altura (cm) por tratamiento de luz y fertilización, en cacao criollo Guasare, para cuatro meses de medición.

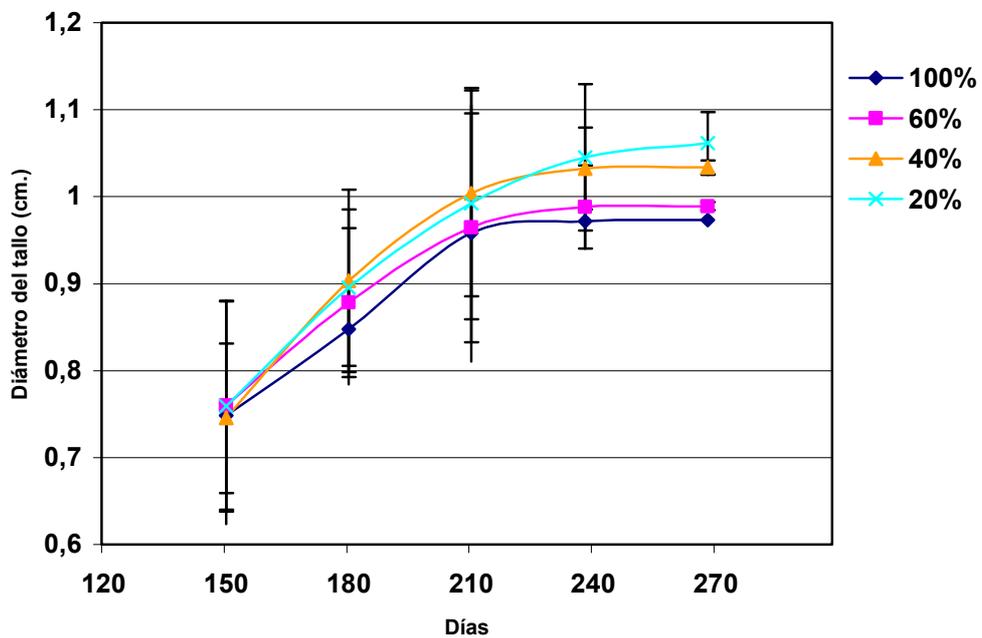


Figura 14. Curva de crecimiento en diámetro del tallo en cm, por tratamiento de luz y fertilización en cacao criollo Guasare, para cuatro meses de medición.

La producción de hojas fue mayor en los tratamientos de 20 %, 40 % y 60 % de luz alcanzando valores promedio de 25, 24 y 20 hojas, respectivamente. Para las plantas a plena exposición, los valores fueron menores (12 hojas), figura 15. Se observó una reducción en el área foliar a plena exposición y 60 % de luz (60 y 25% respectivamente) en comparación con los tratamientos de 40 y 20 % de luz, así como una mayor caída de hojas a plena exposición durante el transcurso del experimento, resultados similares son reportados por Murray y Nichols (1965) y Raja Harum y Kamariah (1983).

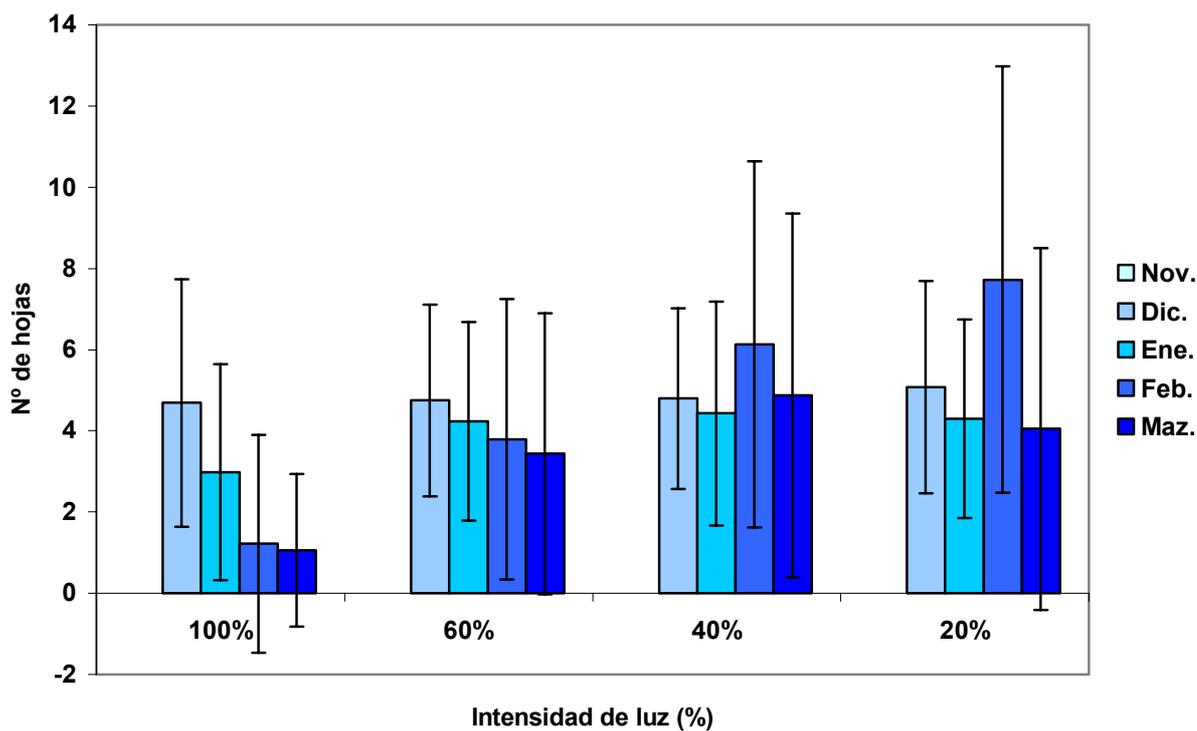


Figura 15. Producción de hojas, por tratamiento de luz en cacao criollo Guasare, durante cuatro meses de medición.

En la figura 16 se puede observar que el promedio mensual de área foliar, disminuye gradualmente en los tratamientos a plena exposición y 60 % de luz durante el transcurso del experimento, en comparación con los tratamientos de 40 y 20 % donde los valores de área foliar son similares entre sí y varían muy poco en el tiempo.

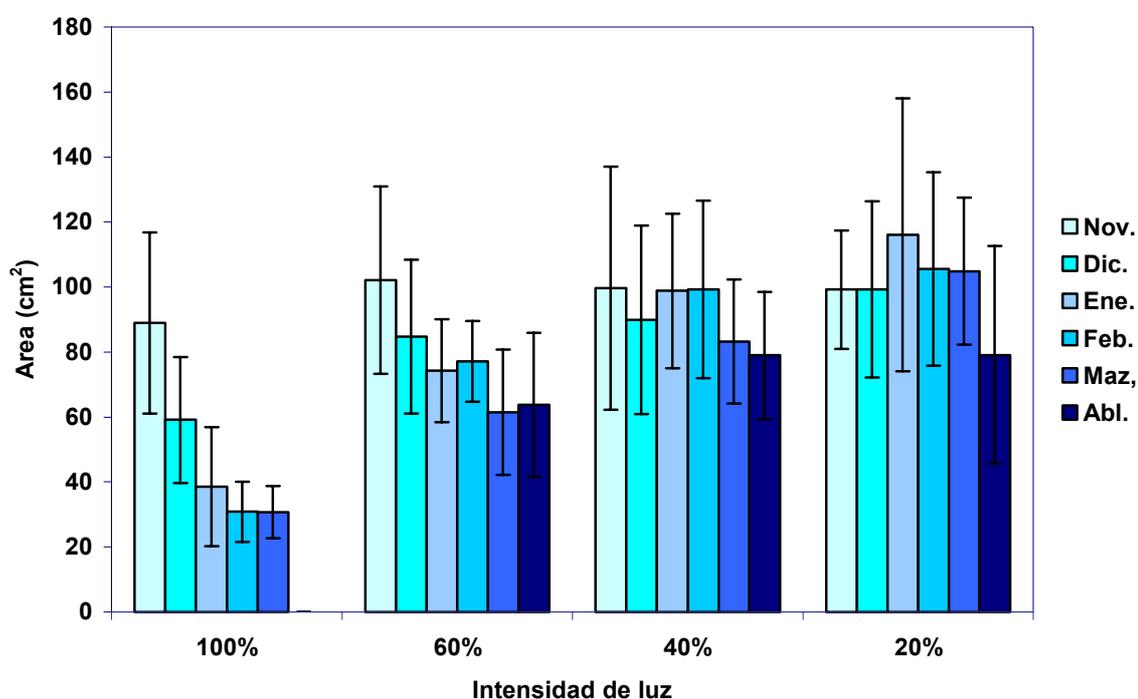


Figura 16. Promedios mensuales de área foliar (cm.) por tratamiento de luz en cacao criollo Guasare durante cinco meses de medición.

Bajo condiciones de plena exposición se manifiesta una fuerte reducción en la elongación de los entrenudos y del área foliar en las plantas de cacao criollo Guasare; durante el cuarto mes se produce la detención del crecimiento por la muerte del meristema apical y se inicia una fuerte proliferación de chupones

pequeños (figura 17) con entrenudos muy cortos, en los cuales se produce una gran cantidad de hojas pequeñas (no registrado).



Figura 17. Muerte del meristema apical y proliferación de chupones en plantas de cacao criollo Guasare, creciendo a plena exposición. Durante el cuarto mes de establecido el ensayo.

3.3 Área foliar específica.

Se encontraron diferencias significativas ($P < 0,0001$) en los valores de área foliar específica (AFE) en las plantas creciendo bajo los diferentes tratamientos de luz (Tabla 7). A plena exposición, el AFE se incrementó alcanzando los mayores valores promedio ($155,84 \text{ cm}^2 / \text{gr.}$) seguido de los tratamientos de 20 % y 40 % de luz, los cuales presentaron hojas de mayor tamaño y valores muy similares entre sí ($148,15$ y $142,17 \text{ cm}^2 / \text{gr.}$) respectivamente. Los menores valores promedio de AFE, se obtienen en el tratamiento de 60 % de luz ($126,06 \text{ m}^2 / \text{gr.}$); este valor más bajo en comparación con los dos tratamientos de sombra anteriores, puede ser debido a la disminución del área foliar en este tratamiento (figura 18), no se encontraron diferencias significativas para la interacción sombra - fertilizante.

Tabla N° 7 Datos promedio de área foliar (Af), peso seco (PS) y área foliar específica (AFE), en hojas de cacao Guasare, para cinco cursos de medición.

Tratamiento	Af cm^2	DS \pm	P. S. gr	DS \pm	AFE cm^2 / gr	DS \pm
100%	49,65	28,41	0,33	0,19	155,84	29,99
60%	79,94	24,23	0,64	0,18	126,06	24,66
40%	94,16	27,83	0,67	0,21	142,17	20,03
20%	104,98	28,74	0,73	0,24	148,15	24,62

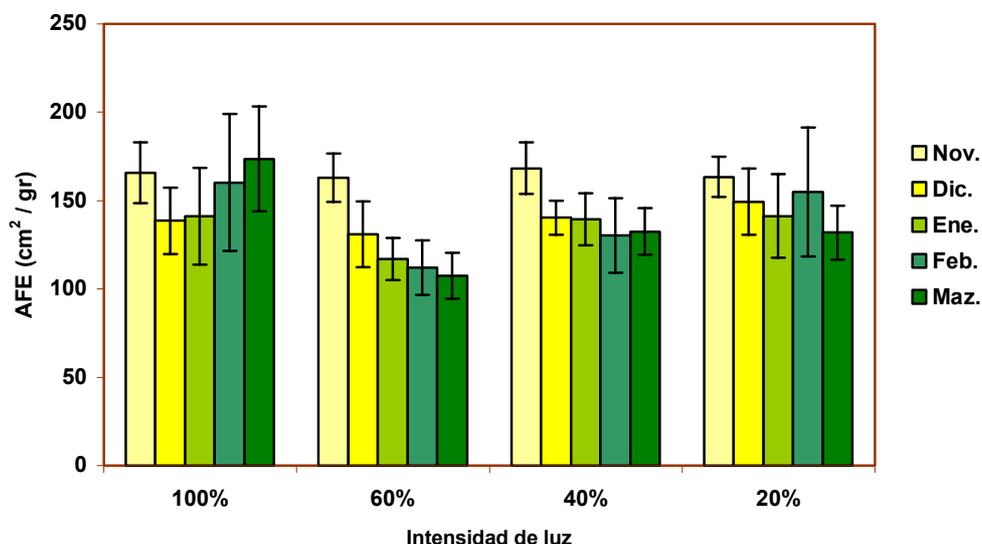


Figura 18. Promedio mensual de área foliar específica (AFE) en cm^2 / gr ., por tratamiento de luz en cacao criollo Guasare durante cinco meses de medición

3.4 Materia seca.

Los valores de materia seca total (MST) medida al final del experimento, muestran diferencias significativas ($P < 0,0001$) en los diferentes tratamientos de luz, no encontrándose diferencias significativas para la interacción sombra - fertilizante.

En plantas desarrollándose a plena exposición se obtienen los valores promedio más bajos de materia seca total (20,514 gr.), en comparación con el resto de los tratamientos donde los mayores valores promedio se encuentran para el tratamiento de 20 % (49,357 gr.), seguido éste de los tratamientos de 40 % y 60 % con valores de 43,438 y 40,913 gr. respectivamente (Tabla 8). La tasa relativa

de crecimiento (TRC) promedio para el periodo de medición (cinco meses), fue mayor y presentó valores similares a 20, 40 y 60 % de luz en comparación con el tratamiento a plena exposición.

Tabla N° 8. Valores experimentales de materia seca en hojas (H), tallos (T), raíces (R) y materia seca total (MST) y tasa relativa de crecimiento (TRC) en cacao criollo Guasare, al finalizar los cinco meses del experimento.

Tratamiento	H (gr)	DS +	T (gr)	DS +	R (gr)	DS +	MST (gr)	DS +	TRC gr/gr mes
100%	4,26	1,20	9,78	3,39	6,48	2,61	20,51	7,00	2,44
60%	16,11	3,41	14,65	5,70	10,15	3,28	40,91	9,67	3,13
40%	19,96	5,50	13,27	7,81	10,20	6,01	43,44	17,91	3,19
20%	22,05	3,92	14,61	8,49	12,69	6,09	49,36	16,46	3,31

La partición de materia seca fue mayor para hojas en todos los tratamientos, detectándose diferencias significativas ($P < 0,0001$) entre los tratamientos de luz. Los menores valores promedio de materia seca foliar, se encontraron en plantas creciendo a plena exposición (4,261 gr.), correspondiendo los mayores promedio a los tratamientos de 20 %, 40 % y 60 % de luz (22,055, 19,962 y 16,107 gr. respectivamente), figura 19. La materia seca en tallos y raíces no presentó diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.

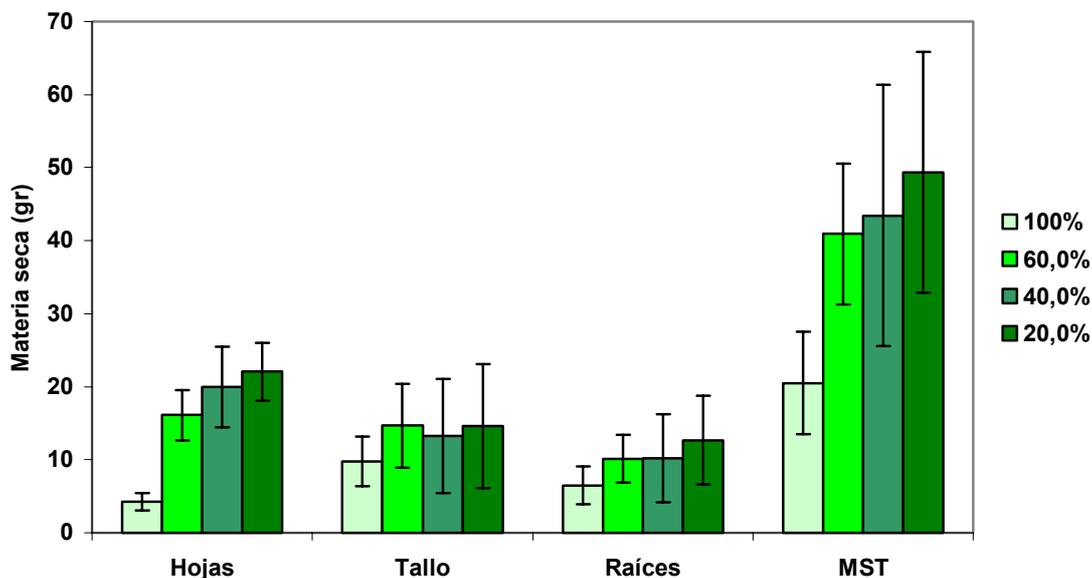


Figura 19. Partición de materia seca en hojas (H), tallo (T), raíces (R) y materia seca total (MST), en plantas de cacao criollo Guasare creciendo bajo diferentes tratamientos de luz.

3.5 Contenido de Nitrógeno.

El contenido foliar de nitrógeno total por unidad de peso, alcanzó los valores más altos y similares entre sí en las plantas creciendo bajo sombra (20%, 40% y 60% de luz) que (Tabla 9). Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.0001$) entre tratamientos para ambos niveles de fertilización (b1 y b2) durante los meses bajo experimentación, período durante el cual, el contenido promedio de nitrógeno por tratamiento de fertilización, se incrementó, siendo mayor para b2 (figura 20). El contenido foliar de N es similar a los niveles normales de nitrógeno ($> 2,0 \text{ mg / gr.}$) reportados para hojas de cacao por Loué (1961) y Murray (1967).

El bajo contenido de nitrógeno observado, se debe a que generalmente las plantas de sombra tienen niveles de RUBISCO más bajos que las plantas de sol. Se considera que el menor contenido de proteína soluble le confiere a las plantas de sombra, un ahorro importante que no afecta su tasa fotosintética a bajas intensidades de luz y sugiere que es la causa por la cual, las plantas de sombra no son capaces de tener altas tasas fotosintéticas a luz saturante.

3.6 Contenido de clorofila.

En plantas de sombra el contenido de clorofila (a + b) por unidad de peso es mayor que en las hojas de plantas creciendo a plena exposición, lo que está asociado a la capacidad de utilización de bajo flujo cuántico en los ambientes sombreados (Björkman, 1981; Medina, 1986).

Se detectaron diferencias significativas ($P < 0,0001$) entre los valores de contenido de clorofila total por unidad de peso para los diferentes tratamientos, encontrándose que para plantas creciendo a 20 %, 40 % y 60 % de luz, los valores de clorofila total fueron mayores que en plantas creciendo a plena exposición (Tabla 10). Resultados similares han sido reportados Salisbury y Ross (1991) y Thompson et al (1992a). No se encontró diferencias significativas en la interacción sombra - fertilizante.

Tabla N° 9. Datos experimentales promedios del contenido de nitrógeno foliar (N), en cacao criollo Guasare, durante cinco cursos de medición.

Tratamiento	N (mg/gr)	DS
100%b1	2,376	0,140
100%b2	2,514	0,269
60%b1	2,460	0,385
60%b2	2,766	0,337
40%b1	2,604	0,228
40%b2	2,524	0,320
20%b1	2,593	0,338
20%b2	2,589	0,279

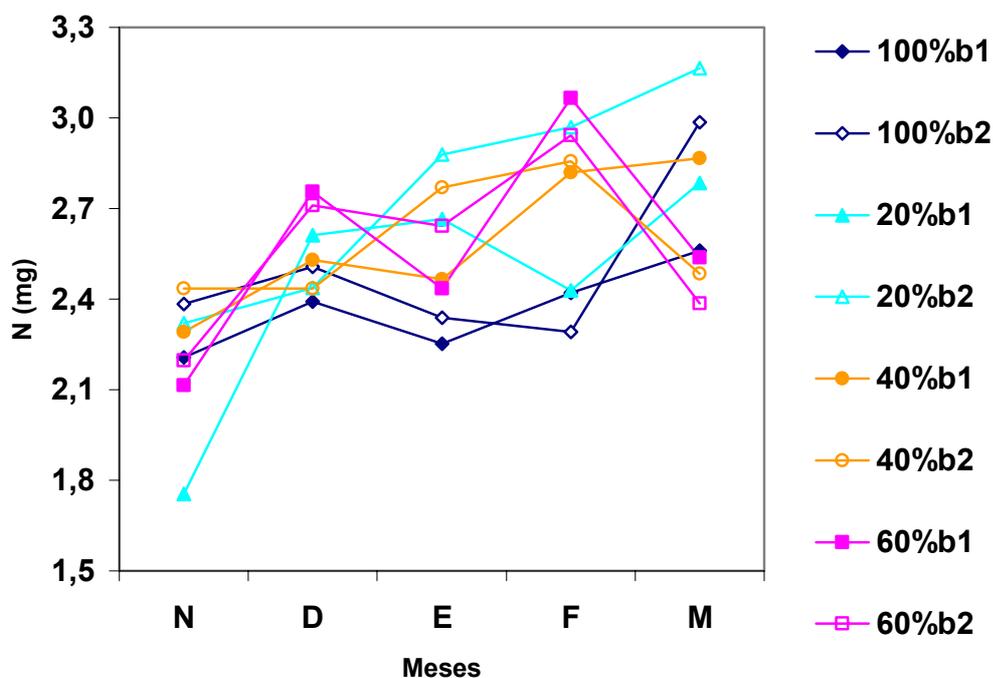


Figura 20. Promedios mensuales de contenido de nitrógeno foliar por tratamiento de fertilización en cacao criollo Guasare creciendo bajo diferentes tratamientos de luz.

Tabla N° 10. Datos experimentales promedio del contenido de clorofila (C_{lof}) y relación clorofila / nitrógeno (C / N) en cacao criollo Guasare, durante cinco cursos de medición.

Tratamiento	AFE (cm ² / gr)	DS +	C _{lof} (mg / gr)	DS +	C / N	DS +
100%	155,84	29,99	3,123	1,326	1,293	0,578
60%	126,06	24,66	3,404	0,781	1,348	0,417
40%	142,17	20,03	3,681	0,848	1,470	0,460
20%	148,15	24,62	3,823	0,870	1,521	0,482

En la figura 21 se puede observar como disminuye el contenido de clorofila por unidad de peso en el tratamiento a plena exposición a partir del segundo mes de medición, en comparación con los tratamientos de 60, 40 y 20 % luz donde los valores de contenido de clorofila son similares entre sí a finales del experimento.

Se detectaron diferencias significativas ($p < 0,0001$) para la relación clorofila / nitrógeno en plantas de cacao criollo Guasare creciendo bajo los diferentes tratamientos (Tabla 8), observándose que para 20% y 40% de luz los valores promedio de C/N son mayores y similares entre sí (1,521 y 1,470 respectivamente), en comparación con los valores promedio obtenidos para los tratamientos a plena exposición y 60% de luz (1,293 y 1,348 respectivamente) los cuales también son similares y menores que los anteriores; estos valores reflejan una respuesta de aclimatación a los diferentes tratamientos.

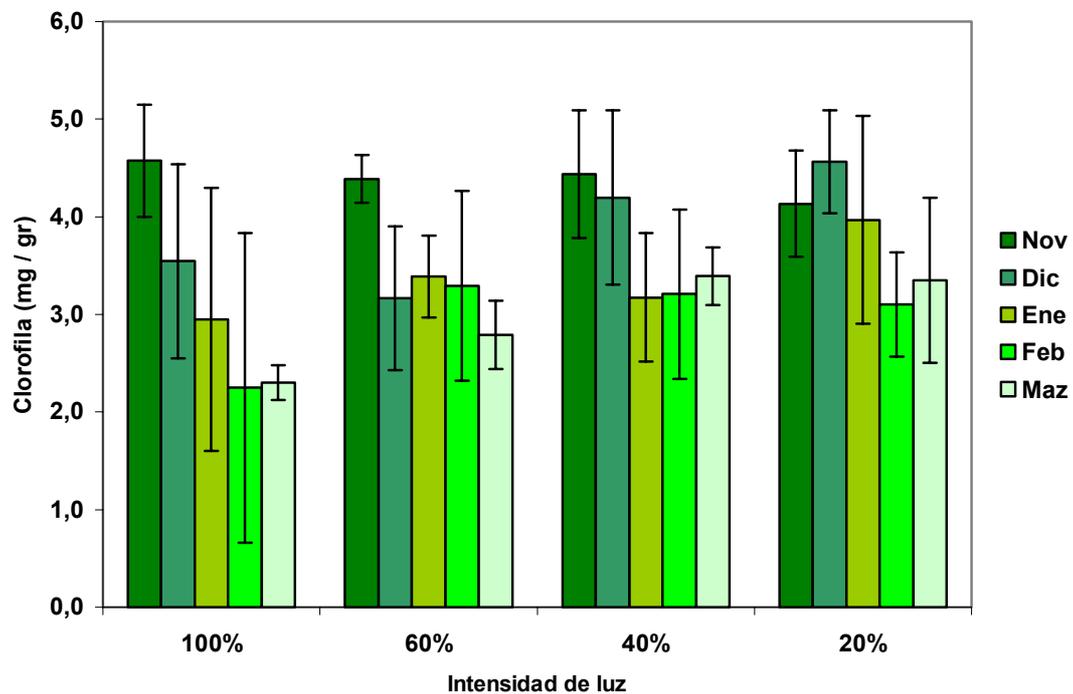


Figura 21. Variación mensual del contenido de clorofila por unidad de peso (mg / gr.), en plantas de cacao criollo Guasare creciendo bajo diferentes tratamientos de luz.

4. Discusión de resultados.

4.1 Respuesta fotosintética.

El potencial hídrico foliar (ψ_f) en todos los tratamientos disminuye desde las primeras horas de la mañana, haciéndose más negativo progresivamente hasta las horas del medio día, después se incrementa en horas de la tarde. Los valores de ψ_f en plantas expuestas, fueron más negativos en comparación con los tratamientos de 60, 40 y 20 % de luz, donde las diferencias en el ψ_f entre mediciones, fue pequeña durante todo el día; resultados similares a estos son reportados por Alvim et al (1974) en plantas de cacao irrigadas.

Durante los diferentes cursos de potencial hídrico foliar realizados durante los cinco meses de medición, se observó una relativa constancia en los valores de ψ_L así como en sus componentes, no se observó valores cercanos al punto de pérdida de turgor, lo que sugiere que bajo ausencia de estrés hídrico, la regulación del balance hídrico de la planta, no está limitado por la disponibilidad de agua del suelo.

El efecto de la humedad relativa sobre el potencial hídrico de las hojas de cacao a plena exposición y bajo sombra en ausencia de estrés hídrico, fue observado por Alvim y et al (1974), quienes encontraron, que con la disminución de la humedad relativa, el ψ_f se hace más negativo, demostrando que la variación diaria del ψ_f de las hojas de cacao es mucho mas dependiente de la humedad

relativa del aire, que de la disponibilidad de agua del suelo. Asimismo, señalaron que bajo condiciones de estrés hídrico, el contenido de humedad del suelo toma mayor importancia en el balance hídrico de la planta y que las hojas de plantas creciendo en áreas sombreadas se encontraban considerablemente menos estresadas que las hojas de plantas creciendo en sitios abiertos. Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que bajo el tratamiento a plena exposición la humedad relativa es menor que en los tratamientos con sombra, lo cual se refleja en los valores más negativos de ψ_f obtenidos a plena exposición.

El incremento en espesor de la hoja, acompañado de la reducción del tamaño de la hoja bajo condiciones de plena exposición, puede reducir los efectos adversos de la alta radiación, mejorar la eficiencia de uso de la luz y aumentar la fotosíntesis (Galyuon et al 1996a). El tamaño más pequeño de las hojas normalmente está asociado con un incremento de la densidad estomática, el cual a la vez está asociado con una reducción de la resistencia estomática y esto juntamente con la resistencia de la pequeña capa límite (Gates, 1968), lo que hace suponer un incremento de la tasa de transpiración y el enfriamiento de la hoja.

Aunque en este experimento no se midió la densidad estomática en las plantas creciendo bajo las diferentes intensidades de luz, la disminución en tamaño de las hojas a plena exposición y 60 % de luz, sugiere un incremento de la densidad estomática en las plantas de cacao criollo Guasare lo cual pudiera

traducirse en un incremento de la tasa de transpiración y el enfriamiento de la hoja.

Bajo plena exposición, la transpiración y la conductancia estomática, son mayores con respecto a los tratamientos de 60, 40 y 20 % de luz. La mayor G_s y E en plantas creciendo en plena exposición puede ser debida al incremento en la densidad estomática (Galyuon et al, 1996b). Durante el experimento, los valores de E para el tratamiento a plena exposición, fueron aproximadamente dos veces mayor en relación al tratamiento de 20 % de luz; resultados similares fueron encontrados por Opeke (1965) quién reporta un incremento de dos a tres veces mayor en la E de plantas de cacao forastero creciendo a plena exposición. Este incremento puede causar además una reducción de la temperatura foliar (Okali y Owusu, 1975). Durante el mes de diciembre (figura 4), se puede observar, como un incremento en los valores de E para el tratamiento de 20 % de luz causa una disminución de la temperatura foliar en horas del medio día (momento de máxima radiación).

La asimilación en plantas a plena exposición, se incrementó a partir del tercer mes de tratamiento, alcanzando valores similares a los encontrados en los tratamientos con sombra, donde la asimilación se mantiene más o menos constante durante el desarrollo del experimento, evidenciando una clara aclimatación de las plantas a plena exposición. Estos resultados contradicen los encontrados por Raja Harun y Ismail (1983), quienes reportan bajas tasas fotosintéticas en plantas de caco creciendo a plena exposición. Opeke (1965) sin

embargo, reporta que la alta radiación puede resultar en un incremento de la E y una correspondiente alta A en cacao, pero que el efecto sobre la producción de materia seca es negativo. En el presente estudio la A se incrementa en el tratamiento a plena exposición, sin embargo los menores valores de MS se encontraron en este tratamiento.

El incremento en la tasa de asimilación de CO₂ en las plantas a plena exposición después del segundo mes de tratamiento, en este experimento, puede ser debido al incremento en espesor de las hojas. La alta radiación causa el engrosamiento de las hojas y reduce la resistencia de la difusión de CO₂ por el incremento del espacio poroso en las capas del mesófilo (Holmgren, 1968). Incrementos en el grosor del mesófilo y la relación espacio intercelular – células asimilatorias están fuertemente correlacionados con la tasa de asimilación de CO₂ (Fekete et al, 1973). Sin embargo, las plantas a plena exposición presentaron una reducida área foliar (Galyuon et al, 1996b), una alta demanda por asimilados en adición a una mayor densidad estomática, lo que puede también estar contribuyendo a mayores tasas de asimilación bajo plena exposición.

Los niveles óptimos de luz para la fotosíntesis, pueden cambiar con el periodo de adaptación y variar entre progenies (Raja Harun y Hardwick, 1988). Un incremento en la A en plantas expuestas a alta radiación, puede ser atribuido al aumento en espesor de la hoja (Fekete et al, 1973; Thompson et al, 1992b), es por esto posible que el incremento en espesor de las hojas en los tratamientos a plena

exposición y 60 % de luz, pueda ser responsable del incremento en A de los mismos.

En plantas que se encuentran en la sombra y por lo tanto sujetas a un aumento repentino (y tal vez medianamente duradero) en la disponibilidad de luz, su aclimatación podría estar dirigida más a reducir un posible daño de la maquinaria fotosintética (por exceso de luminosidad) que a maximizar la ganancia total de carbono (a través de un aumento en la A máx.). Estos hallazgos se apoyan en estudios de campo que han mostrado que, en comparación con las plantas de sombra, las plantas de sol tienen una mayor capacidad para disipar el exceso de energía a través del ciclo de las xantofilas (Königer et al 1995, Logan et al 1996). Es más, luego de ser expuestas a períodos de mucha luminosidad, las plantas recuperan su capacidad fotosintética (Castro et al 1995, Krause y Winter 1996, Logan et al 1997, Walting et al 1997).

Un incremento en la fotosíntesis neta en plantas expuestas a alta radiación puede ser también debido al incremento en espesor de la hoja (Fekete et al 1973, Thompson et al 1992b); lo que podría explicar el incremento de la fotosíntesis neta encontrado en este estudio. Raja Harun y Hardwick, (1984) encontraron, en plantas jóvenes de cacao amelonado, creciendo bajo condiciones controladas, mayores valores de asimilación a 20% de luz. Los mayores valores promedio de asimilación en el presente trabajo se obtuvieron bajo los tratamientos de 60 y 40 % de luz en comparación con los tratamientos de plena exposición y 20 % donde se

obtienen los valores promedios más bajos (tablas 1 y 2). Por otra parte, radiaciones por encima del 45 % luz a plena exposición resultan en una reducción de la tasa de asimilación neta en plantas de cacao (Raja Harun y Kamariah, 1983), resultados similares se encuentran en plantas tolerantes a la sombra en bosque lluvioso (Thompson et al, 1992b)

Las plantas de sombra presentan características fotosintéticas muy similares, la $A_{\text{máx.}}$ varía entre 1 y 5 $\mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2 \text{s}$ y la saturación de luz ocurre entre 200 y 500 $\mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2 \text{s}$ (Chazdon et al 1986, Press et al 1996). A pesar de que la relación entre la asimilación (A) y la radiación fotosintéticamente activa no fue significativa se puede apreciar que los valores observados de $A_{\text{máx.}}$ en este experimento tienden a estar dentro del rango obtenido para otras plantas de sombra o para plantas de cacao (Okali y Owusu, 1975; Hutcheon, 1976).

En el presente estudio los máximos valores de asimilación obtenidos en los diferentes tratamientos varían en un rango entre 2,5 y 3,5 $\mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2 \text{s}$, resultados similares son reportados por Joly (1987), Joly y Hahnl (1989), en plantas de cacao (irrigadas) utilizadas como control en trabajos sobre estrés hídrico en cacao, Raja Harun y Hardwick (1988) en plantas de cacao creciendo bajo diferentes intensidades de luz y Azócar et al (2002) en plantas jóvenes de cacao criollo Porcelana. En la tabla 11 se presentan valores de asimilación para plantas jóvenes, de diferentes cultivares de cacao bajo condiciones de plena exposición y sombra.

Se observa una tendencia a la saturación lumínica alrededor de 200 a 250 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$ que equivale mas o menos a un 20 % de luz a plena exposición. La saturación alrededor del 20% fue previamente observada por Raja Harun y Ismail (1983) y Okali y Owusu (1975). Asimismo similar a otras plantas de sombra los puntos de compensación de luz obtenidos en este experimento tienden a ser muy bajos (Raja Harun y Hardwick, 1984).

Es importante destacar que bajo los tratamientos a plena exposición y 60 % de luz hay una tendencia a la disminución en las tasas de asimilación a altos niveles de luz (entre 700 y 900 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$), lo cual sugiere cierto grado de fotoinhibición en plantas jóvenes creciendo a intensidades por encima del 60% de luz. Azócar et al (2002) reportan resultados similares en plantas jóvenes de cacao Porcelana a intensidades por encima de 800 $\mu\text{mol} / \text{m}^2 \text{ s}$ (datos no publicados).

En cuanto al contenido de nitrógeno por unidad de peso seco, a pesar de que se encuentran diferencias significativas ($p < 0,0001$) entre tratamientos de luz y niveles de fertilización, estas pudieran ser debidas a diferencias en la edad de la hoja al momento de ser cosechadas ya que los brotes nuevos no se producen en todas las plantas al mismo tiempo. Los valores promedio obtenidos en los diferentes tratamientos, oscilan en un intervalo estrecho de valores (2,376 – 2,766), los cuales se encuentran dentro de los niveles de N reportados para hojas de plantas de cacao que muestran un buen estado nutricional (Loue 1961, Murray 1967).

Tabla N° 11. Valores de asimilación (A), en plantas jóvenes de cacao para diferentes cultivares de cacao, creciendo bajo condiciones de plena exposición y sombra.

Cultivar	Plena exposición A (umol / m² s)	Sombra A (umol / m² s)
Porcelana ¹	1,5 – 2,5	2,5 – 3,5
Cacao Amelonado ²	-	3,89
TSH 1103 x 919 ³	3,62	3,0
TSH 1188 x 919 ³	3,59	2,88
TSH 1104 x 1095 ³	3,36	2,77
TSH 1076 x ICS 1 ³	3,66	2,88
EET – 399 ⁴	-	2,77
EET – 400 ⁴	-	2,55
UF – 613 ⁴	3,27	-
Guasare	2,8	3,4

Fuente: ¹Azócar et al (2002), ²Raja Harun & Hardwick (1988), ³Galyuon et al (1996), ⁴Joly & Hahn (1989).

Un menor contenido de N en especies de sombra en comparación con plantas de sol, se debe a que generalmente las plantas de sombra tienen niveles más bajos de RUBISCO que las plantas de sol, y se considera que el contenido más bajo de proteína soluble en plantas de sombra, les confiere un ahorro importante que no afecta su tasa fotosintética a bajas intensidades de luz, pero a

la vez, sugiere que es la causa por la cual las plantas de sombra no son capaces de tener altas tasas fotosintéticas a luz saturante.

Las altas tasas de intercambio gaseoso de muchas especies están asociadas con altos contenidos de nitrógeno foliar (Ellsworth y Reich 1992). Plantas creciendo a altas radiaciones, normalmente producen hojas con mayor espesor, masa por área y densidad estomática y menor área por hoja que plantas creciendo a bajas radiaciones (Jackson 1967, y Smith 1981). Sin embargo, el contenido de nitrógeno no es significativamente diferente entre hojas de sombra y sol de la misma especie, indicando que mayor contenido de nitrógeno en las hojas de sol es predominantemente una función del incremento de la masa por unidad de área de la hoja (Björkman y Holmgram 1963, Ackerly 1992).

Cuando el contenido de nitrógeno no varía entre plantas de una misma especie creciendo en sitios abiertos y sombreados esto puede reflejar una repartición diferencial del N. En sitios sombreados, mayores cantidades de N son repartidas en la clorofila, mientras que en sitios abiertos, más N puede ser repartido en RUBISCO, resultando en un contenido similar de N entre sitios (Evans 1989). En el presente estudio las plantas creciendo bajo los tratamientos de plena exposición y 60 % de luz producen hojas con una menor área foliar, mayor peso por unidad de área, que plantas creciendo bajo menores intensidades de luz (20 y 40 % de luz).

En plantas de sombra el contenido de clorofila total por unidad de peso es mayor que en hojas de plantas que crecen a plena exposición, lo que está asociado con la capacidad de utilización de bajo flujo cuántico en los ambientes sombreados, además presentan un bajo contenido de proteína soluble y considerablemente una menor relación de proteína soluble / clorofila que las especies de sol (Björkman 1968, Björkman 1981, Medina 1986). En el presente trabajo las plantas creciendo a plena exposición y 60 % de luz presentaron menor área foliar y contenido de clorofila total que las plantas creciendo bajo 40 y 20 % de luz. Resultados similares son reportados por, Salisbury y Ross (1991) y Thompson et al (1992a). La reducción en el contenido de clorofila bajo plena exposición puede ayudar a proteger el aparato fotosintético de la demanda debida al exceso de energía de excitación.

La mayor capacidad de utilizar la luz menos intensa en las plantas de sombra está asociada con el hecho de la mayor proporción de moléculas de clorofila por centro de reacción fotoquímico, es decir, el tamaño de la unidad fotosintética es mayor en plantas de sombra, mientras que las plantas de sol poseen un mayor número de unidades fotosintéticas por unidad de superficie foliar. Si se mide la relación clorofila / nitrógeno en hojas de sol y sombra, se puede observar que las plantas de sombra tienen una mayor proporción clorofila / nitrógeno (Medina, 1971).

Azócar (1969) citada por Medina, 1986), en un estudio detallado de la relación clorofila / nitrógeno en plantas de sol y sombra, concluye que las plantas de sombra tienen mayor cantidad de clorofila por unidad de nitrógeno que las plantas de sol, lo que está relacionado con la eficiencia para el aprovechamiento de las bajas intensidades de luz por las plantas de sombra. Evans (1989) reporta también que en hojas de varias especies de plantas creciendo en alta y baja radiación, la relación clorofila / nitrógeno es significativamente mayor en la sombra, lo que está asociado a una mayor distribución del nitrógeno foliar a las membranas tilacoides de los cloroplastos en las plantas de sombra.

En el tratamiento a plena exposición y 60 % de luz las plantas de cacao Guasare presentan valores menores y similares entre sí, en la relación clorofila / nitrógeno en comparación con los tratamientos de 40 y 20 % de luz donde se obtienen los valores mas altos, lo que sugiere una mayor distribución de nitrógeno a las membranas de los tilacoides en las plantas creciendo a menores intensidades de luz y una mayor capacidad para utilizar la radiación incidente.

4.2 Crecimiento.

La fotosíntesis es fundamental para el crecimiento de las plantas. El dióxido de carbono que se fija durante el proceso es transformado en compuestos de carbono, elemento esencial para la construcción de tejido vegetal. La economía del carbono de una planta está regulada no solo por la tasa fotosintética de sus

hojas, sino también por la cantidad de luz que estas logran interceptar. La posibilidad de interceptar la luz y la consiguiente ganancia de carbono de la planta está, a su vez, influenciada por la disposición de las hojas y por la distribución de la biomasa dentro de la planta misma (Chazdon 1985, Givnish 1988, Ackerly y Bazzaz 1995, Herbert 1996).

Raja Harum y Kamariah (1983) reportan una reducción en la altura de plantas de cacao Amelonado con una apariencia pobre en crecimiento a plena exposición en comparación con plantas expuestas a 45 % de luz, las cuales mostraron una mayor altura y apariencia sana. Resultados similares también son reportados por Galyoun et al (1996a), quienes señalaron un mayor crecimiento en altura en plantas de seis genotipos de cacao creciendo bajo 50 % de luz en comparación con plantas creciendo a plena exposición.

Los resultados obtenidos en este experimento muestran que plantas sometidas a 60, 40 y 20 % de luz expresaron una mayor altura y entrenudos más largos que aquellas creciendo a plena exposición, y entre estos tratamientos las mayores alturas se registraron a 40 y 20 % de luz, resultados similares fueron encontrados por Raja Harum y Kamariah (1983), quienes señalan que la disminución en altura a plena exposición fue debida a la reducción de la elongación de los entrenudos.

Las plantas jóvenes de cacao, en principio, exploran un pequeño volumen de suelo por lo que se hace necesario la aplicación de fertilizantes al momento de la siembra y luego en forma más frecuente dependiendo de los requerimientos del cultivo y la fertilidad del suelo (Wessel, 1971). Evans y Murray (1953) encontraron para cacao, en un ensayo utilizando cinco intensidades de luz (15, 25, 50, 75 y plena exposición) y diferentes dosis de fertilizantes con ausencia y presencia de N, P y K, que durante los dos primeros años, en campo, el crecimiento fue mayor a intensidades entre 30 y 60 % de luz y que la aplicación de fertilizante produce poco efecto sobre éste. Las mayores alturas obtenidas en el presente trabajo bajo condiciones de 20, 40 y 60 % de luz son similares a las mencionadas anteriormente evidenciándose una mayor respuesta, en crecimiento, a intensidades entre 20 y 40 % de luz, sin embargo a diferencia de lo reportado por Evans y Murray (1953) en este experimento el cacao Guasare muestra una respuesta a dosis altas de fertilizante a inicios de su crecimiento, expresada en los parámetros de altura.

El crecimiento en diámetro fue mayor a 20 y 40 % de luz, caso contrario de los tratamientos de 60 % de luz y plena exposición donde se observaron los menores diámetros del tallo a 10 cm. de altura. Este mayor diámetro del tallo en las plantas a 20 y 40 % de luz es indicativo de un mejor desarrollo de las plantas el cual se traduce en un mayor vigor, y por ende en una mayor capacidad productiva de las plantas, a futuro (Braudeau, 1970).

Los efectos perjudiciales de las condiciones sin sombra son debido al estrés asociado con la plena exposición y al movimiento del viento alrededor de las plantas jóvenes (Alvim, 1965, Alvim et al 1974). En plantas creciendo a plena exposición, el daño a nivel de hojas se incrementa con el movimiento del viento, el cual provoca rupturas en los pulvínulos, causando la defoliación de la planta; esto sugiere que las hojas de plantas jóvenes de cacao son muy susceptibles a sufrir daños por el movimiento del viento, siendo conveniente establecer barreras rompevientos para favorecer su establecimiento en campo.

De acuerdo con Cunningham & Burrigde (1960), las plantas jóvenes de cacao a plena exposición, pueden desarrollarse bien, sólo cuando el estrés hídrico se disminuye con riego continuo. Sin embargo, los resultados obtenidos en este trabajo muestran, que a pesar del suministro de agua para mantener el suelo a capacidad de campo, las plantas de cacao criollo Guasare, a partir del tercer mes de instalación del ensayo, presentaron una fuerte defoliación y muerte del meristema apical por el estrés asociado con alta radiación y probablemente por altas velocidades del viento.

Radiaciones por encima del 45 % de luz, causan una reducción del área foliar y del crecimiento de plantas de cacao Amelonado (Raja Harun et al, 1983); resultados similares son reportados en plantas tolerantes a la sombra de árboles de bosque lluvioso (Thompson et al 1992). El tamaño de las hojas en plantas de cacao Guasare creciendo a plena exposición y 60 % de luz, se redujo como

respuesta a la alta radiación; bajo estas condiciones la reducción en tamaño fue del 60 % con respecto a los tratamientos de 20 y 40 % de luz, resultados similares fueron encontrados por Murray y Nichols (1965); Raja Harun y Kamariah (1983) y Gayluon et al (1996a).

La producción de hojas por planta fue mayor y similar entre sí, bajo condiciones de 20 y 40 % de luz en comparación con el tratamiento de 60 % de luz. A plena exposición, la producción de hojas disminuye por el estrés asociado con la plena exposición, movimiento del viento y posteriormente por la muerte del meristema apical. Sin embargo, en estas plantas se inicia la aparición de chupones cortos en los cuales se producen una gran cantidad de hojas pequeñas (no registrado), de corta duración.

Las hojas que se desarrollan bajo alta radiación usualmente son más gruesas y tienen más capas de empalizada y un mejor desarrollo del parénquima del mesófilo (Thompson et al, 1992b; García et al, 1995). Las plantas creciendo a 60 % de luz, presentaron hojas con valores de AFE menores, comparados con los tratamientos de 20 y 40 % de luz. Estos resultados reflejan los efectos conocidos de la alta radiación sobre el desarrollo y estructura de la hoja (Jackson, 1967; Hiesey et al, 1971; Fitter y Hay, 1981; Thompson et al, 1992b), y evidencian que efectivamente la intensidad de luz a la que están creciendo las plantas, afecta el área foliar y el AFE del cacao Guasare, observándose una respuesta de aclimatación de las plantas bajo plena exposición y 60 % de luz. Sin embargo, las

plantas creciendo a plena exposición aunque presentan hojas con una menor área foliar, su AFE es mayor en comparación con el resto de los tratamientos.

La máxima producción de materia seca (MS) en plantas de cacao ha sido encontrada a radiaciones de 45 y 55% de luz (Goodal, 1955; Murray y Nichols, 1965; Okali y Owusu, 1975; Raja Harun y Kamariah, 1983). En el presente estudio la materia seca total (MST) fue aproximadamente 50 % menor en plantas creciendo a plena exposición en comparación con los tratamientos de sombra donde los valores de MST son mayores y similares entre sí, no observándose un efecto del nivel de radiación sobre la materia seca en estos tratamientos.

La repartición de materia seca (MS) entre hojas, tallos y raíces sólo se ve afectada por el nivel de radiación en hojas, donde los tratamientos de 20 y 40 % de luz presentan los mayores valores en comparación con los valores observados en plena exposición y 60 % de luz. A plena exposición, la MS en hojas se ve reducida en un 75 % aproximadamente y a 60 % de luz en un 25 % con respecto al tratamiento de 20 % de luz; no obstante en estos tratamientos la MS fue subestimada debido a la mayor abscisión de hojas. Con respecto a la MS en tallos y raíces, ésta no fue afectada por los diferentes tratamientos de luz. Y aunque no se encontró diferencias significativas ($P < 0,0001$), la MS en tallos y raíces fue menor a plena exposición.

La reducción del crecimiento a plena exposición puede explicarse principalmente por la disminución en la elongación de los entrenudos y mayor abscisión de hojas, como lo señalan Goodall (1955) y Okali y Owusu (1975) trabajando con cacaos forasteros. El incremento de la abscisión foliar a plena exposición, reduce directamente la medición de MST por planta; la desviación de asimilados para el reemplazo de las hojas caídas también reduce la disponibilidad de asimilados para el crecimiento de las raíces y tallo (Sleigh et al, 1984; Machado y Hardwick, 1988). La reducción de los asimilados y la pérdida de área foliar a plena exposición, también son atribuidos a la excesiva temperatura foliar (Okali y Owusu, 1975) y el incremento en las pérdidas de agua (Bonaparte, 1966), lo que resulta en una pobre absorción de nutrientes, bajas tasas fotosintéticas y un pobre crecimiento (Raja Harun y Kamariah, 1983). En el presente estudio, en las plantas creciendo a plena exposición, se produjo una mayor abscisión foliar y un menor crecimiento.

5. Conclusiones.

- ☀ Bajo condiciones de 20 y 40 % de luz, las plantas exhiben un mayor crecimiento en altura y diámetro del tronco así como una mayor tasa de crecimiento relativo.
- ☀ A intensidades de luz por encima de 40%, se redujo el área foliar específica (AFE) y la materia seca total (MST) por planta.
- ☀ La conductancia estomática en todos los tratamientos es baja, disminuye en forma progresiva desde tempranas horas de la mañana, presentándose valores ligeramente superiores a plena exposición.
- ☀ Los valores de transpiración son hasta dos veces mayores a plena exposición en comparación con el resto de los tratamientos.
- ☀ Bajo las condiciones en que se realizó el experimento (riego constante) el potencial hídrico foliar no presentó valores cercanos al punto de pérdida de turgor, y sus componentes no presentaron variaciones.
- ☀ Las mayores tasas de asimilación se presentaron a intensidades de 60 % de luz, sin embargo estas mayores tasas no se reflejaron en el crecimiento de las plantas.

- ☀ La eficiencia de uso de la luz determinada a través de la relación clorofila / nitrógeno, es mayor en plantas creciendo a intensidades de 20 y 40 % de luz.
- ☀ Con base en los resultados obtenidos, se recomienda al momento del trasplante para el caca criollo Guasare una intensidad de luz inferior al 40 % de la radiación incidente.

6. REFERENCIAS

- ACKERLY 1992. **Light, leaf age, and leaf nitrogen concentration in a tropical vine.** *Oecologia* 89. 596 – 600.
- ACKERLY, D. D. y BAZZAZ, F. A. 1995. **Leaf dynamics, selfshading and carbon gain in seedlings of a tropical pioneer tree.** *Oecologia* 101: 289 – 298.
- ALVIM, P. De T. 1960. **El problema del sombreado del cacao bajo el punto de vista fisiológico.** Conf. Interam. Cacao, 7th. pp. 294 – 303.
- ALVIN, P. De T. 1965. **Ecophysiology of the cacao tree.** Conf. Int. Rech. Agron. Cocoa. Abidjan. 1965. 23 – 5.
- ALVIM, P. De T. 1977. **Cacao.** En: *Ecophysiology of tropical crops*. P. De T. Alvim y T. T. Kozlowsky (editors). New York, Academic Press, pp. 279 – 314.
- ALVIN, P. De T., MACHADO, A. D., VELLO, F. 1974. **Physiological responses of cacao to environmental factors.** *Revista Theobroma* 4: 3 -24.
- ARNON, D. I. 1949. **Copper enzymes in isolated chloroplasts.** Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant. Physiol.* 24: 1 – 15.
- AZOCAR, A. RADA, F. JAIMEZ, R. RAMIREZ, M. E. GARCIA, C. 2002. **Estudio agro – ecofisiológico de diferentes alternativas de sombra con especies frutales en cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L. var. Porcelana), en el eje Sur del Yucatán, estado Mérida.** Informe final, Agenda cacao I fase. Mimeografiado. 72 p.
- BJÖRKMAN, O. 1981. **Response to different quantum flux densities.** In O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond y H. Ziegler (Eds.). *Physiological Plant Ecology*. I. Encyclopedia of plant physiology. Vol. 12^a, Springer – Verlag, Berlin – Heidelberg – New York. Pp. 57 - 107
- BJÖRKMAN, O. 1968. **Further studies on differentiation of photosynthetic properties in sun and shade ecotypes of *Solidago virgaurea*.** *Physiol Plant* 21: 84 – 99.
- BJÖRKMAN, O. & HOLMGREN, P. 1963. **Adaptability of the photosynthetic apparatus to light intensity in ecotypes from exposed and shade habitats.** *Physiol Plant* 16: 889 – 914.

- BONAPARTE, E. E. N. A. 1966. **The influence of some meteorological factors on the growth and yield of cocoa.** Paper presented at the monthly Departmental Seminar of the Meteorological Department, Accra, Ghana.
- BONAPARTE, E. E. N. A. 1967. **Interspecific competition in cocoa shade and fertilizer experiment.** Trop. Agric. 44. 13 – 19.
- BRADSTREET, R. B. 1965. **The Kjeldahl method for organic nitrogen.** Academic Press. New York and London.
- BRAUDEAU, j. 1970. **El Cacao.** Barcelona, España. Ed. Blume. 297 p. (colección Agricultura Tropical).
- CASTRO, Y. FETCHER, & FERNANDEZ, D. S. 1995. **Chronic photoinhibition in seedlings of tropical trees.** Physiologia Plantarum 94: 560 – 565.
- CHAZDON, R. L. 1985. **Leaf display, canopy structure, and light interception of two palm species.** American Journal of Botany. 72: 1493 – 1502.
- CHAZDON, R. L. 1986. **Physiological and morphological basis of shade tolerance in rain forest understory palms.** Principes 30. 92 – 99.
- CUATRECASAS, J. 1964. **Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus *Theobroma*.** Washington. D.C., Smithsonian Institution.
- CUNNINGHAM, R. K. y BURRIDGE, J. C. 1960. **The growth of cacao (*Theobroma cacao*) with and without shade.** Ann. Bot. (N. S.) 24: 458 – 62.
- CUNNINGHAM, R. K. y ARNOLD, P. W. 1962. **The shade and fertilizer requirements of cacao (*Theobroma cacao*) in Ghana.** J. Sci. Food Agric. 13, 213 – 221.
- ELLSWORTH, D. S., REICH, P. B. 1992. **Leaf mass per area, nitrogen content and photosynthetic carbon gain in *Acer saccharum* seedlings in contesting forest light environments.** Funct Ecol . 423 – 435.
- ENGELS, J.; BARTLEY, B. Y ENRIQUEZ, G. 1979. **Descriptores de cacao, sus clases y modus operandi.** CATIE – Costa Rica.
- EVANS, J. R. 1989. **Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants.** Oecologia. 78: 9 – 19.
- EVANS, H. y MURRAY, D. B. 1953. **A shade and fertiliser experiment on young cacao.** Rep. Cacao Res.1945 – 1951, Trinidad: 67 – 76.

- FEKETE, G., SZUKO-LACZA, J. and HORVARTH, G. 1973. **Leaf anatomical and physiological reactions of *Quercus pubescens* Willd. to environmental factors of various ecosystems.** II Photosynthetic activity Acta. Bot. Acad. Sci. (Hung.) 18, 281 – 293.
- FITTER, A. H. y HAY, R. K. M. eds. 1981. **Experimental Botany** - An international Series of Monographs, London, Academic Press, 355 pp.
- GALYOUN, I. K. A., McDAVID, C. R., LÒPEZ, F. B. and SPENCE, J. A. 1996a. **The effect of irradiance level on cocoa (*Theobroma cacao* L.): I Growth and leaf adaptations.** Trop. Agric.(Trinidad) 73, 23 – 28.
- GALYOUN, I. K. A., McDAVID, C. R., LÒPEZ, F. B. and SPENCE, J. A. 1996b. **The effect of irradiance level on cocoa (*Theobroma cacao* L.): II Gas exchange and chlorophyll fluorescence.** Trop. Agric. (Trinidad) 73, 29 – 33.
- GARCIA, C. AZOCAR, A. RADA, F. 1995. **Photosynthetic acclimation to light in juveniles of two cloud forest species.** Trees. 10: 114 – 124.
- GATES, D. M. 1968. **Transpiration and leaf temperature.** Ann. Rev. Pl. Physiol. 19: 211 – 238.
- GIVNISH, T. J. 1988. **Adaptation to sun and shade: a wholeplant perspective.** Australian Journal of Plant Physiology. Oecologia 85: 63 – 92.
- GOODALL, D. W. 1955. **Growth of cocoa seedlings as affected by illumination.** XIV Int. Hort. Congr. Pp. 1501 – 1510.
- HERBERT, T. 1996. **On relationship of plant geometry to photosynthetic response.** Pp. 139 – 161. in Tropical Forest Plant Ecophysiology. Chapman & Hall, USA.
- HIESEY, W. M., NOBS, M. A. y BJORKMAN, O. 1971. **Experimental studies on the nature of species,** V. Biosystematics, genetics and physiological ecology of the Erythranthe section of Mimulus, Carnegie Inst. Wash. Publi. 628.
- HOLMGREN, P. 1968. **Leaf factors affecting light- saturated photosynthesis in ecotypes of *Solidago virgaurea* from exposed and shaded habitats.** Plant. 21: 676 – 698.
- HUTCHEON, W. F. 1976. **Photosynthesis of cocoa.** Photosynthesis in relation to the light and plant nutrient status. Rep. Cocoa Res. Inst. Ghana, 1973 – 1974: 186 – 8.

- JACKSON, M. B. 1967. **Effect of shade on leaf structure of deciduous tree species.** Ecology 48, 498 - 499
- JOLY, R. 1987. **Physiological adaptations for maintaining photosynthesis under water stress in cacao.** Proceedings of the 10th International Cocoa Research Conference, Santo Domingo, Dominican Republic, pp. 199 – 203.
- JOLY, R. y HAHN, D. 1989. **Net CO₂ assimilation of cacao seedlings during periods of plant water deficit.** Photosynthesis Research 21: 151 – 159.
- KÖNIGER, M., HARRIS, G. C., VIRGO, A. & WINTER, K. 1995. **Xanthophyll-cycle pigments and photosynthetic capacity in tropical forest species: a comparative field study on canopy, gap and understory plant.** Oecologia 104: 280 – 290.
- KRAUSE, G. H., WINTER, K. 1996. **Photoinhibition of photosynthesis in plants growing in natural tropical forest gaps. A chlorophyll fluorescence estudy.** Botanica Acta 109: 456 – 462.
- LEAL, F. y VALDERRAMA, E. 1997. **Origen del cacao en Venezuela.** Memorias I Congreso Venezolano del Cacao y su Industria. Maracay, Venezuela.
- LEE, A. K. 1978. **Performance of some cocoa hybrids under exposed condition.** Int. Conf. Cocoa and Coconuts, Malaysia
- LEMÉE, G. 1955. **Influence de l'alimentation en eau et de l'ombrage sur l'économie hydrique et la photosynthèse du cacaoyer.** Agronomie Tropicale. 10 : 592 – 603
- LOGAN, B. A., BARKER, D. H., DEMMIG, B. & ADAMS W. W. I. 1996. **Acclimation of leaf carotenoid composition and ascorbate levels to gradients in the light environment within an Australian rainforest.** Plant Cell and Environment 19. 1083 – 1090.
- LOGAN, B. A., BARKER, D. H. ADAMS W. W. I. & Demmig, A. 1997. **The response of xanthophylls cycle dependent energy dissipation in Alocasia brisbanensis to sunflecks in subtropical rainforest.** Australian Journal of Plant Physiology 24: 27 -33.
- LOUE, A. 1961. **Etude des carences et des déficiences minérales sur le cacaoyer.** Bull. 1. Institut Français de Café et du cacao: Paris
- MACHADO, R. C. R. y HARDWICK, K. 1988. **Does carbohydrates availability control flush growth in cocoa ?** 10th Int. Cocoa Res. Conf., Santo Domingo, Dominican Republic, 1987, pp. 151 – 157.

- MEDINA, E. 1971. **Effect of nitrogen supply and light intensity during grown on the photosynthetic capacity and carboxy-dismutase activity of leaves of *Artriplex patula* ssp *hastate***. Carnegie Institute Washinton Yrbk 70: 551 – 559.
- MEDINA, E. 1986. **Aspectos ecofisiológicos de plantas de bosques nublados tropicales: el bosque nublado de Rancho Grande**. En : Huber, O. (Ed.) La selva nublada de Rancho Grande. Parque Nacional Henri Pittier. Fondo Editorial. Acta Cientifica Venezolana. Caracas. Pp. 189 – 196.
- MURRAY, D. B. 1957. **The use the shade for cacao**. Conf. Interam. Cacao, 6th. pp. 111 – 116.
- Murray, D. B. 1967. **Leaf analysis applied to cacao**. Cocoa Growers' Bull. 9: 25 – 31.
- MURRAY, D. B. 1975. **The botany of cacao**. En: Cocoa. Ed. G. A. R. Wood 3ra ed. Longman. London. 7 – 18.
- MURRAY, D. B. y NICHOLS, R. 1965. **Light, shade and growth in some tropical trees, In: Light as on Ecological Factor** (ed. Bainbridge, R., Evans, G. C. and Rakhan, O.), pp 249 – 263.
- OHMART, C. P., STEWART, L. G. y THOMAS, J. R. 1985. **Effects of food quality, particularly nitrogen concentrations, of *Eucalyptus blakelyi*, on the growth of *Paropsis atomaria* larvae (coleopteran: Chrysomelidae)**. Oecologia (Berlin) 65, 543 – 549.
- OKALI, D. U. U. y OWUSU, J. K. 1975. **Growth analysis and photosynthetic rates of cocoa (*Theobroma cacao* L) seedlings in relation to varying shade and nutrient regimes**. Ghana J. Agric. Sci. 8: 51 – 67.
- OWUSU, J. K. 1978. **Light requirement of cocoa**. A review. Int. Conf. Cocoa and Coconut. Malaysia, 112 – 121.
- OPEKE, L. K. 1965. **The ecological factor of light on cocoa (*Theobroma cacao* L.)**. Proc. 1st Int. Cocoa Res. Conf. Abidjan, Ivory Coast, 15 – 20 November, 1965, pp. 121 – 124.
- PEARCY, r. w., EHLERINGER, J. R., MOONEY, H. A. y RUNDEL, P. W. 1989. **Plant Physiological Ecology Field Methods and Instrumentation**. Chaphma and Hall. London. New york. Pp. 430 – 431.

- PRESS, M. C., BROWN, N. D., BARKER, M. G. & ZIPPERLEN, S. W. 1996. **Photosynthetic responses to light in tropical rain forest tree seedlings.** Pp. 41 – 58 in *The Ecology of Tropical Forest Tree Seedlings*. Parthenon Publishing Group, France.
- RAJA HARUN, R. y KAMARIAH, H. I. 1983. **The effects of shading regimens on the growth of cacao seedlings (*Theobroma cacao L.*)**. *Pertanika*. 6 (3), 1 – 5.
- RAJA HARUN, R. M. y ISMAIL, K. 1983. **The effects of Shading regimes on the growth of cocoa seedlings (*Theobroma cacao L.*)** *Petarnika*, 6 (3) 1 – 5.
- RAJA HARUN, R. M. y HARDWICK, K. 1984. **The effects of prolonged exposure to diferent light intensities on the photosynthesis of cacao leaves.** *Proc. 10th Int. Cocoa. Res Conf. Santo Domingo. Dominican Republic, 1987*, pp 205 – 209.
- RAJA HARUN, R. M. y HARDWICK, K. 1988. **Photosynthesis and transpiration of cacao leaves.** *Int. Conf. Cocoa and Coconuts. Malaysia*.
- RAMOS, G.; RAMOS, P.; AZOCAR, A. 1999. **Manual del productor de cacao.** Mérida, Venezuela. 4ta edición. 70 p.
- REYES, H.; CAPRILES de R. 2000. **El Cacao en Venezuela.** Caracas, Venezuela. Graficas Acea C. A. 270 p.
- SALISBURY, F. B. y ROSS, C. W. 1991. **Plant Physiology**, 4th edn., Belmont, California, Wadsworth Pub. Co., 682 pp.
- SHEPERD, R. 1976. **Establishment and maintenance of cacao seedling nurseries.** *Cocoa Growers Boletin*. 25. 11 – 15.
- SLEIGH, P. A., COLLIN, H. A. and HARDWICK, K. 1984. **Distribution of assimilate during the flush cycle of growth in *Theobroma cacao L.*** *Plant Growth Regulation*. 2, 381 – 391.
- TAYLOR, S. J. y HADLEY, P. 1988. **Relationship between root and shoot growth in cocoa (*Theobroma cacao L.*) grown under different shade regimes.** *Proc. 10th Int. Cocoa Res. Conf., Santo Domingo. Dominican Republic, 1987*, pp. 177 – 183.

- THOMPSON, W. A.; HUANG, L. K. ; and KRIEDEMANN, P. E. 1992 a. **Photosynthetic response to light and nutrients in sun-tolerant and shade-tolerant rainforest trees, II. Leaf gas exchange and component processes of photosynthesis.** Aust. J. Plant. Physiol. 19. 1 - 19
- THOMPSON, W. A., KRIEDEMANN, P. E. and CRAIG, I. E. 1992 b. **Photosynthetic response to light and nutrients in sun-tolerant and shade-tolerant rainforest trees, I Growth, leaf anatomy and nutrient content.** Aust. J. Plant Physiol. 19, 1 – 19.
- TOXOPEUS, H. 1987. **Botany, types and populations.** En: Wood, G. A. R. and Lass, R. A. Cocoa (4th ed.) London, Longman Sci. & Tech. Tropical Agriculture Series. 620 p.
- TYREE, M. T., y HAMMEL, h. T. 1972. **The measurement of the turgor pressure and the water relations of plants by the pressure – bomb technique.** J. Exp. Bot. 23: 267 – 282.
- URQUHART, D. H. 1963. **Cacao.** Turrialba, Costa Rica. Ed. SIC. Serie: Textos y Materiales de Enseñanza No. 13. 322 p.
- VON CAEMMERER, S. y FARQUHAR, G. D. 1981. **Some relationships between the biochemistry and the gas exchange of leaves.** Planta. 153: 376 – 387.
- WALTING, J. R., BALL, M. C. & WOODROW, I. E. 1997. **The utilization of lightflecks for growth in four Australian rain- forest species.** Functional Ecology 11: 231 – 239.
- WESSEL, M. 1971. **Fertiliser requirements of cacao (*Theobroma cacao* L.) in south Western Nigeria.** Communication 61. Dept. of Agric. Res. Royal Trop. Inst. Amsterdam.
- WOOD, G. A. R. 1975. **Cocoa.** Third Ed. London-UK; Longman-Group-Ltd. (The Tropical Agriculture Series). 304 p.
- WOOD, G. A. R. y LASS, R. A. 1987. **Cocoa.** (4ta ed.) London, Longman Sci. & Tech. Tropical Agriculture. Series. 620 p.

ANEXO A



FONDO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
SERVICIO NACIONAL DE ANALISIS DE SUELOS PARA RECOMENDACIONES DE FERTILIZANTES
CENTRO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS DEL ESTADO MERIDA
LABORATORIO DE SUELOS

INFORME SOBRE ANALISIS DE SUELOS

N° 6025 Fecha: 03 - 07 - 2000. Finca: Campo Experimental San Juan
Propietario o remitente: FONAIAP Localidad: San Juan
Municipio Autónomo: Sucre Municipio foráneo: _____
Cultivo: Cacao Estado: Mérida



Ubicación						
N° de muestra	1					
Profundidad cm						
N° de registro	11331					

ANALISIS MECANICO

% de arena	49.2					
% de limo	26.8					
% de arcilla	24.0					
Textura	FAa					

ANALISIS QUIMICO

Fósforo ppm	6	B							
Potasio ppm	129	A							
Calcio ppm	874	A							
Mg. ppm	144	A							
Materia Orgánica %	2.21	M							
pH 1: 2.5 en agua	6.5	N							
Al(meq/100 suelo)	-								
S ppm	-								
CE. mmhos/cm	0.045	n							

A=Alto; B=Bajo; M=Medio; N=Neutro; n=normal; FAa=Franco-Arcillo-arenoso.

Datos promedios horarios de radiación fotosintéticamente activa (PAR), transpiración (E), conductancia estomática (Gs) y asimilación (A), en cacao criollo Guasare durante el mes de Noviembre de 2000

Intercambio gases 30/11/00								
100%								
Hora	PAR	DS	E	DS	Gs	DS	A	DS
8:35	1085	165	0,93	0,43	26,67	10,33	1,27	0,80
10:32	1497	433	1,60	0,57	29,00	9,23	1,63	1,01
13:02	2022	435	1,49	0,47	16,00	7,68	1,44	0,66
16:26	1312	295	0,61	0,20	2,07	4,12	1,90	0,63
60%								
9:11	804	177	0,89	0,24	23,27	8,51	3,23	0,64
11:46	1298	338	1,18	0,35	16,88	8,29	2,20	0,66
14:15	1096	450	0,65	0,50	3,72	8,17	1,64	0,60
40%								
8:49	479	176	0,66	0,23	20,00	9,89	2,33	0,74
11:25	752	103	0,99	0,31	20,70	8,56	2,70	0,81
13:52	916	334	0,47	0,19	0,68	3,34	2,20	0,66
20%								
8:18	261	118	0,74	0,26	36,83	11,16	1,87	0,68
11:03	723	160	1,08	0,34	22,50	9,32	2,50	0,82
13:23	784	78	0,79	0,37	7,05	6,68	2,13	0,60
16:52	369	174	0,33	0,13	0,00	0,00	1,75	0,62

Datos promedios horarios de radiación fotosintéticamente activa (PAR), transpiración (E), conductancia estomática (Gs) y asimilación (A), en cacao criollo Guasare durante el mes de Noviembre de 2000

Intercambio gases 20/12/00								
100%								
Hora	PAR	DS	E	DS	Gs	DS	A	DS
8:20	156	55	1,20	0,73	57,44	12,11	1,59	0,63
12:01	1367	406	1,17	0,77	16,58	8,77	1,98	0,88
15:06	1150	327	0,68	0,37	6,29	8,43	2,61	0,85
17:22	564	182	0,26	0,14	4,52	6,24	2,90	0,84
60%								
8:43	209	51	0,86	0,42	32,09	14,11	2,79	0,77
11:34	704	127	0,79	0,29	15,28	9,10	3,34	0,82
14:36	890	333	0,59	0,28	4,65	7,35	2,32	0,79
17:08	469	259	0,54	0,63	7,74	12,54	1,72	0,67
40%								
9:05	240	79	0,80	0,50	26,98	12,94	2,98	0,87
11:09	272	70	0,58	0,23	13,18	9,34	3,28	0,65
14:04	431	100	0,97	0,74	17,21	8,69	2,48	0,66
16:46	414	135	0,72	0,57	11,71	8,85	2,47	0,77
20%								
9:25	186	33	0,58	0,26	17,33	10,95	2,77	0,81
10:45	243	65	0,47	0,24	11,32	9,35	3,00	0,77
13:36	388	87	1,38	0,94	34,75	15,22	3,58	0,91
16:25	399	120	0,31	0,24	4,88	6,75	2,46	0,93

Datos promedios horarios de radiación fotosintéticamente activa (PAR), transpiración (E), conductancia estomática (Gs) y asimilación (A), en cacao criollo Guasare durante el mes de enero de 2001

Intercambio gases 30/01/01								
100%								
Hora	PAR	DS	E	DS	Gs	DS	A	DS
8:33	1022	247	1,46	0,41	67,25	11,72	3,00	0,80
11:31	2073	237	2,25	0,99	31,22	11,26	2,74	0,91
12:33	2044	170	2,11	0,73	31,56	13,31	3,41	0,71
15:48	1722	230	0,85	0,21	6,30	5,32	3,53	0,70
17:24	1252	324	0,51	0,17	1,09	3,15	2,92	0,82
60%								
8:54	653	155	0,82	0,18	28,84	7,62	3,41	0,73
11:12	1120	125	1,13	0,39	21,11	8,85	2,59	0,88
12:52	1079	236	1,45	0,35	22,93	7,50	4,10	0,71
15:29	1096	174	0,53	0,12	0,91	2,91	2,99	0,83
17:40	532	152	0,34	0,08	0,00	0,00	2,25	0,56
40%								
9:15	387	140	0,65	0,24	24,32	12,28	3,31	0,77
10:53	753	79	0,80	0,31	17,11	10,36	2,90	1,00
13:08	818	98	0,96	0,25	14,26	7,73	3,36	0,79
14:59	757	115	0,54	0,12	1,30	3,41	3,23	0,82
18:00	218	118	0,28	0,06	0,00	0,00	1,87	0,46
20%								
9:34	399	118	0,46	0,18	13,88	8,62	2,45	0,57
10:32	686	141	0,89	0,26	26,14	9,45	3,39	0,88
13:26	801	157	0,66	0,19	4,38	6,49	3,70	0,79
14:38	843	320	0,52	0,08	0,20	1,43	3,28	0,55
18:18	91	24	0,24	0,08	0,20	1,40	1,26	0,48

Datos promedios horarios de radiación fotosintéticamente activa (PAR), transpiración (E), conductancia estomática (Gs) y asimilación (A), en cacao criollo Guasare durante el mes de febrero de 2001

Intercambio gases 22/02/01								
100%								
Hora	PAR	DS	E	DS	Gs	DS	A	DS
9:01	783	213	0,87	0,25	36,29	12,85	2,61	0,89
11:25	1751	734	1,84	0,85	44,72	10,90	3,55	1,11
13:26	1760	512	1,85	0,66	34,25	7,38	2,47	0,91
15:29	1297	596	1,39	0,47	33,00	5,88	2,87	0,85
17:31	152	49	0,67	0,12	31,58	6,79	1,69	0,72
60%								
8:41	275	105	0,69	0,13	40,24	9,87	2,46	0,79
11:07	797	270	0,79	0,37	22,38	12,26	3,26	0,75
13:09	1244	119	1,09	0,37	22,27	10,31	3,23	0,52
15:08	1028	243	1,11	0,30	25,79	11,06	3,05	0,60
17:13	252	70	0,68	0,10	28,51	5,10	2,41	0,61
40%								
8:22	83	18	0,90	0,12	62,67	11,36	1,85	0,68
10:50	698	162	0,78	0,28	24,50	11,97	2,91	0,79
12:50	836	101	0,76	0,33	16,74	10,55	2,79	0,91
14:50	753	71	0,90	0,29	22,71	8,44	3,02	0,70
16:58	228	83	0,62	0,11	24,68	5,46	2,14	0,59
20%								
8:04	34	10	0,92	0,17	71,06	9,59	0,72	0,37
10:27	472	201	0,56	0,14	21,46	6,91	3,33	0,84
12:33	817	144	0,90	0,36	21,82	12,44	3,15	0,72
14:35	754	77	0,77	0,32	20,00	11,41	3,02	0,84
16:43	238	67	0,50	0,17	18,37	9,98	2,43	0,76

Datos promedios horarios de radiación fotosintéticamente activa (PAR), transpiración (E), conductancia estomática (Gs) y asimilación (A), en cacao criollo Guasare durante el mes de marzo de 2001

Intercambio gases 20/03/01								
100%								
Hora	PAR	DS	E	DS	Gs	DS	A	DS
9:10	867	90	0,63	0,35	19,38	13,68	2,49	0,84
11:34	1205	170	0,72	0,41	14,55	10,63	2,29	0,84
13:26	625	113	0,74	0,40	19,00	12,96	2,28	0,81
15:42	898	152	0,76	0,34	15,76	10,91	1,36	0,65
17:31	224	28	0,49	0,09	17,58	5,61	1,30	0,42
60%								
8:54	412	103	0,45	0,16	17,56	9,81	3,04	0,60
11:16	939	75	0,90	0,32	20,00	10,44	2,65	0,62
13:10	503	60	0,61	0,29	16,36	10,59	2,36	0,68
15:25	551	92	0,61	0,21	14,19	9,06	1,45	0,69
17:17	229	25	0,49	0,13	17,21	7,01	1,28	0,57
40%								
8:35	202	57	0,68	0,22	36,59	10,93	2,57	0,69
10:56	623	110	0,50	0,28	10,48	10,11	2,39	0,86
12:53	392	74	0,44	0,20	10,89	9,25	2,30	0,72
15:05	431	135	0,48	0,26	8,09	9,70	1,53	0,61
16:59	243	112	0,45	0,22	11,88	11,04	1,29	0,73
20%								
8:19	112	23	0,79	0,16	61,28	7,94	1,44	0,58
10:35	590	190	0,31	0,19	4,62	7,56	1,52	0,69
12:37	353	82	0,39	0,22	8,16	9,26	1,76	0,70
14:42	545	110	0,41	0,33	7,78	12,67	0,85	0,61
16:42	236	98	0,29	0,12	7,56	7,34	0,96	0,55

Valores promedios de humedad relativa en % (HR), temperatura del aire en °C, temperatura foliar en °C y diferencia de presión de vapor (DPV), en cacao criollo Guasare durante los meses de noviembre y diciembre de 2000.

Fecha:30/11/00

Hora	Tratam	H.R	T. aire	b1		b2	
				T. foliar	DPV	T. foliar	DPV
8:00	100%	50	24,5	29,6	2,610	23,6	1,375
10:45		48	28,3	30,4	2,495	30,0	2,397
13:00		49	33,1	32,8	2,495	32,7	2,468
17:00		62	26,2	27,6	1,583	27,3	1,519
8:00	60%	53	25,1	24,3	1,348	23,8	1,258
10:45		50	28,5	28,6	1,969	27,6	1,747
13:00		51	30,9	30,6	2,113	32,8	2,696
17:00		63	24,9	25,5	1,280	25,6	1,299
8:00	40%	54	23,4	24,5	1,520	24,8	1,576
10:45		51	27,9	28,3	1,929	28,7	2,020
13:00		51	29,7	31,1	2,391	31,0	2,391
17:00		65	25,9	26,0	1,189	26,5	1,290
8:00	20%	52	23,1	25,7	1,832	23,9	1,495
10:45		50	29,2	29,5	2,097	30,3	2,291
13:00		52	30,6	31,5	2,339	31,5	2,339
17:00		62	26,0	25,9	1,257	26,1	1,257

Fecha:20/12/00

Hora	Tratam	H.R	T. aire	b1		b2	
				T. foliar	DPV	T. foliar	DPV
8:00	100%	68	22,4	23,4	1,036	22,9	0,951
10:45		64	23,7	25,2	1,330	25,1	1,311
13:00		56	29,1	30,1	2,011	30,4	2,085
17:00		66	25,6	26,1	1,215	26,3	1,255
8:00	60%	66	21,2	22,5	1,064	21,7	0,934
10:45		64	22,6	23,4	1,123	23,1	1,072
13:00		57	27,3	27,7	1,646	28,4	1,801
17:00		65	23,7	23,9	1,061	23,9	1,061
8:00	40%	67	22,2	22,5	0,933	22,5	0,933
10:45		63	22,3	23,3	1,164	22,9	1,096
13:00		57	26,7	26,7	1,506	26,8	1,526
17:00		63	24,0	24,1	1,122	23,8	1,068
8:00	20%	67	22,2	22,7	0,966	23,0	1,017
10:45		62	23,0	23,3	1,118	23,6	1,170
13:00		57	25,8	26,6	1,589	27,1	1,693
17:00		63	23,7	23,9	1,119	23,7	1,084

Valores promedios de humedad relativa en % (HR), temperatura del aire en °C, temperatura foliar en °C y diferencia de presión de vapor (DPV), en cacao criollo Guasare durante los meses de enero y febrero de 2001.

Fecha:30/01/01

Hora	Tratam	H.R	T. aire	b1		b2	
				T. foliar	DPV	T. foliar	DPV
8:00	100%	48	22,5	24,2	1,711	26,3	2,113
10:00		42	24,7	29,0	2,698	31,5	3,315
12:00		43	28,6	31,4	2,913	31,0	2,810
14:00		49	28,2	29,4	2,225	27,9	1,884
17:00		54	26,8	27,2	1,705	27,7	1,812
8:00	60%	49	23,8	23,2	1,399	22,1	1,215
10:00		43	23,9	26,1	2,106	24,1	1,726
12:00		43	29,6	30,7	2,634	29,5	2,340
14:00		49	28,5	27,8	1,829	28,0	1,873
17:00		53	27,7	27,0	1,597	27,3	1,660
8:00	40%	52	22,1	22,1	1,276	22,9	1,409
10:00		41	24,5	25,2	1,945	26,0	2,101
12:00		41	28,2	28,7	2,369	29,0	2,437
14:00		49	28,6	27,2	1,689	27,8	1,818
17:00		52	26,8	26,7	1,671	27,6	1,860
8:00	20%	45	22,3	21,8	1,400	22,2	1,464
10:00		42	25,9	25,6	1,879	26,2	1,998
12:00		39	30,6	31,1	2,806	31,2	2,832
14:00		47	28,6	27,8	1,896	28,6	2,074
17:00		50	27,1	26,9	1,751	26,8	1,730

Fecha:22/02/01

Hora	Tratam	H.R	T. aire	b1		b2	
				T. foliar	DPV	T. foliar	DPV
8:00	100%	72	20,0	21,6	0,896	22,1	0,976
10:00		63	21,9	23,5	1,240	24,2	1,364
12:00		52	27,9	28,8	2,005	29,9	2,265
14:00		52	27,6	29,4	2,179	29,2	2,132
17:00		64	23,2	24,4	1,236	23,5	1,075
8:00	60%	74	20,1	19,7	0,554	20,2	0,626
10:00		63	23,1	22,3	0,912	22,1	0,879
12:00		52	26,1	27,4	1,891	26,9	1,786
14:00		51	26,8	27,1	1,789	26,1	1,584
17:00		63	23,7	23,7	1,084	23,6	1,066
8:00	40%	76	19,9	20,0	0,572	20,3	0,616
10:00		64	22,5	23,3	1,116	23,8	1,203
12:00		51	26,2	26,1	1,646	27,2	1,872
14:00		50	26,3	27,8	2,026	26,6	1,772
17:00		62	24,2	24,2	1,147	24,8	1,258
8:00	20%	73	20,3	20,2	0,628	20,3	0,643
10:00		62	23,8	24,6	1,265	24,9	1,321
12:00		50	28,3	26,1	1,458	26,4	1,518
14:00		50	27,2	26,9	1,741	26,1	1,578
17:00		60	23,2	25,0	1,461	23,6	1,206

Valores promedios de humedad relativa en % (HR), temperatura del aire en °C, temperatura foliar en °C y diferencia de presión de vapor (DPV), en cacao criollo Guasare durante el mes de marzo de 2001.

Fecha:20/03/01

Hora	Tratam	H.R	T. aire	b1		b2	
				T. foliar	DPV	T. foliar	DPV
8:15	100%	61	24,9	25,4	1,323	25,5	1,343
10:15		66	26,5	28,6	1,629	27,8	1,451
12:30		62	27,2	27,9	1,522	27,6	1,456
14:30		55	30,9	30,8	1,985	31,3	2,113
16:30		61	26,9	27,2	1,445	27,7	1,552
8:15	60%	59	24,5	25,7	1,488	24,5	1,890
10:15		62	25,6	27,4	1,614	26,8	1,488
12:30		58	27,8	28,9	1,815	27,5	1,504
14:30		54	30,4	29,9	1,869	29,8	1,851
16:30		61	26,9	26,9	1,382	26,7	1,341
8:15	40%	58	24,1	24,7	1,370	26,1	1,640
10:15		61	25,5	25,9	1,351	28,0	1,790
12:30		55	27,2	28,7	1,953	28,9	1,998
14:30		54	29,2	32,4	2,676	31,9	2,540
16:30		58	27,0	27,0	1,497	27,2	1,539
8:15	20%	58	24,3	24,1	1,240	24,9	1,387
10:15		59	26,8	26,7	1,424	26,3	1,342
12:30		54	27,4	27,3	1,665	28,1	1,839
14:30		52	29,7	29,6	2,005	31,5	2,453
16:30		55	27,4	26,5	1,455	27,1	1,579

Potencial hídrico foliar por tratamiento de luz y fertilización correspondientes a los meses de noviembre y diciembre de 2000

Fecha: 30/11/00

Tratamiento: 100% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,20	-0,50	-0,40	-0,37	0,15
12:00	-1,80	-1,90	-1,20	-1,63	0,38
16:30	-0,80	-0,70	-0,80	-0,77	0,06

Tratamiento: 100% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,20	-0,20	-0,60	-0,33	0,23
-1,15	-1,40	-1,80	-1,45	0,33
-0,65	-0,80	-0,95	-0,80	0,15

Tratamiento: 20% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,45	-0,60	-0,80	-0,62	0,18
12:00	-0,85	-1,15	-1,45	-1,15	0,30
16:30	-0,80	-0,95	-0,80	-0,85	0,09

Tratamiento: 20% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,60	-0,85	-1,00	-0,82	0,20
-1,10	-1,00	-1,35	-1,15	0,18
-0,50	-0,50	-1,00	-0,67	0,29

Tratamiento: 40% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,90	-0,90	-1,00	-0,93	0,06
12:00	-1,10	-0,90	-1,45	-1,15	0,28
16:30	-0,60	-0,50	-0,60	-0,57	0,06

Tratamiento: 40% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,70	-0,70	-0,70	-0,70	0,00
-1,10	-1,30	-1,65	-1,35	0,28
-0,75	-0,80	-1,00	-0,85	0,13

Tratamiento: 60% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,80	-0,70	-0,85	-0,78	0,08
12:00	-0,80	-0,90	-1,20	-0,97	0,21
16:30	-0,80	-0,70	-0,70	-0,73	0,06

Tratamiento: 60% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,60	-0,80	-0,80	-0,73	0,12
-1,00	-1,30	-1,10	-1,13	0,15
-0,60	-0,80	-0,80	-0,73	0,12

Fecha: 20/12/00

Tratamiento: 100% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,70	-0,50	-0,80	-0,67	0,15
12:00	-0,95	-1,10	-1,20	-1,08	0,13
16:30	-0,80	-1,00	-1,00	-0,93	0,12

Tratamiento: 100% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,75	-0,85	-0,80	-0,80	0,05
-0,85	-0,70	-1,20	-0,92	0,26
-0,85	-0,70	-0,70	-0,75	0,09

Tratamiento: 20% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,50	-0,55	-0,40	-0,48	0,08
12:00	-0,80	-0,80	-0,90	-0,83	0,06
16:30	-0,40	-0,60	-0,65	-0,55	0,13

Tratamiento: 20% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,60	-0,65	-0,50	-0,58	0,08
-0,60	-0,70	-0,80	-0,70	0,10
-0,55	-0,60	-0,60	-0,58	0,03

Tratamiento: 40% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,50	-0,50	-0,60	-0,53	0,06
12:00	-0,70	-0,90	-0,90	-0,83	0,12
16:30	-0,30	-0,70	-0,75	-0,58	0,25

Tratamiento: 40% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,60	-0,60	-0,80	-0,67	0,12
-0,60	-0,70	-0,80	-0,70	0,10
-0,55	-0,55	-0,75	-0,62	0,12

Tratamiento: 60% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,55	-0,80	-0,60	-0,65	0,13
12:00	-0,65	-0,80	-0,75	-0,73	0,08
16:30	-0,45	-0,65	-0,70	-0,60	0,13

Tratamiento: 60% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,60	-0,65	-0,80	-0,68	0,10
-0,70	-0,80	-0,80	-0,77	0,06
-0,40	-0,60	-0,50	-0,50	0,10

Potencial hídrico foliar por tratamiento de luz y fertilización correspondientes a los meses de enero y febrero de 2001

Fecha:30/01/01

Tratamiento:10 0% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,80	-0,80	-0,90	-0,83	0,06
12:00	-1,25	-1,20	-1,40	-1,28	0,10
14:00	-0,70	-1,40	-1,60	-1,23	0,47
17:00	-0,70	-0,80	-1,50	-1,00	0,44

Tratamiento: 20% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,60	-0,45	-0,90	-0,65	0,23
12:00	-0,70	-1,00	-1,00	-0,90	0,17
14:00	-1,20	-1,20	-1,30	-1,23	0,06
17:00	-0,50	-0,50	-0,70	-0,57	0,12

Tratamiento: 40% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,65	-0,60	-0,70	-0,65	0,05
12:00	-0,80	-1,30	-1,50	-1,20	0,36
14:00	-1,05	-0,90	-1,10	-1,02	0,10
17:00	-0,90	-0,70	-0,75	-0,78	0,10

Tratamiento: 60% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,70	-0,70	-0,90	-0,77	0,12
12:00	-0,70	-1,00	-1,60	-1,10	0,46
14:00	-1,00	-1,20	-1,50	-1,23	0,25
17:00	-0,45	-0,60	-0,70	-0,58	0,13

Fecha:22/02/01

Tratamiento: 100% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,45	-0,70	-0,50	-0,55	0,13
12:15	-1,30	-1,20	-1,60	-1,37	0,21
14:30	-1,20	-1,70	-1,70	-1,53	0,29
17:00	-1,00	-0,90	-1,30	-1,07	0,21

Tratamiento: 20% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,20	-0,20	-0,30	-0,23	0,06
12:15	-0,90	-1,20	-1,30	-1,13	0,21
14:30	-0,80	-1,10	-1,20	-1,03	0,21
17:00	-0,80	-0,90	-0,90	-0,87	0,06

Tratamiento: 40% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,20	-0,40	-0,30	-0,30	0,10
12:15	-1,00	-1,30	-1,50	-1,27	0,25
14:30	-1,00	-0,80	-1,20	-1,00	0,20
17:00	-0,50	-0,60	-0,80	-0,63	0,15

Tratamiento: 60% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:00	-0,30	-0,25	-0,25	-0,27	0,03
12:15	-1,20	-1,30	-1,60	-1,37	0,21
14:30	-1,20	-1,30	-1,30	-1,27	0,06
17:00	-0,50	-0,70	-0,90	-0,70	0,20

Tratamiento:10 0% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,70	-0,80	-0,50	-0,67	0,15
-0,90	-1,70	-1,20	-1,27	0,40
-1,10	-1,40	-0,90	-1,13	0,25
-1,00	-0,80	-1,00	-0,93	0,12

Tratamiento: 20% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,50	-0,60	-0,70	-0,60	0,10
-0,80	-1,20	-1,20	-1,07	0,23
-1,00	-1,10	-0,85	-0,98	0,13
-0,65	-0,50	-0,80	-0,65	0,15

Tratamiento: 40% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,70	-0,90	-0,80	-0,80	0,10
-0,90	-1,00	-1,40	-1,10	0,26
-1,00	-1,15	-1,50	-1,22	0,26
-0,50	-0,60	-0,75	-0,62	0,13

Tratamiento: 60% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,50	-0,80	-0,90	-0,73	0,21
-1,10	-1,00	-1,40	-1,17	0,21
-0,90	-1,20	-1,40	-1,17	0,25
-0,30	-0,50	-0,55	-0,45	0,13

Tratamiento: 100% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,60	-0,70	-1,00	-0,77	0,21
-1,60	-1,10	-1,70	-1,47	0,32
-1,50	-1,60	-1,60	-1,57	0,06
-0,50	-0,90	-1,00	-0,80	0,26

Tratamiento: 20% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,25	-0,20	-0,20	-0,22	0,03
-1,20	-1,30	-1,50	-1,33	0,15
-1,10	-1,10	-1,30	-1,17	0,12
-0,50	-0,70	-0,80	-0,67	0,15

Tratamiento: 40% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,30	-0,20	-0,25	-0,25	0,05
-0,90	-1,30	-1,40	-1,20	0,26
-1,00	-1,10	-1,00	-1,03	0,06
-0,55	-0,60	-1,10	-0,75	0,30

Tratamiento: 60% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,40	-0,30	-0,25	-0,32	0,08
-1,00	-1,40	-1,30	-1,23	0,21
-0,80	-0,90	-1,30	-1,00	0,26
-0,50	-0,50	-0,45	-0,48	0,03

Potencial hídrico foliar por tratamiento de luz y fertilización correspondientes a los meses de marzo de 2000

Fecha:20/03/01

Tratamiento: 100% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:15	-1,00	-1,40	-1,30	-1,23	0,21
12:30	-1,00	-1,70	-1,80	-1,50	0,44
14:30	-1,10	-1,60	-1,50	-1,40	0,26
16:30	-0,80	-0,90	-0,90	-0,87	0,06

Tratamiento:10 0% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-1,40	-1,40	-1,20	-1,33	0,12
-1,30	-1,80	-1,50	-1,53	0,25
-1,40	-1,80	-1,40	-1,53	0,23
-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	0,00

Tratamiento: 20% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:15	-1,00	-0,80	-1,10	-0,97	0,15
12:30	-0,95	-1,20	-1,30	-1,15	0,18
14:30	-1,00	-0,90	-1,30	-1,07	0,21
16:30	-0,80	-0,80	-1,20	-0,93	0,23

Tratamiento: 20% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,70	-0,90	-0,90	-0,83	0,12
-0,70	-1,00	-0,90	-0,87	0,15
-1,30	-1,50	-1,00	-1,27	0,25
-0,70	-0,70	-0,70	-0,70	0,00

Tratamiento: 40% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:15	-1,00	-0,90	-1,00	-0,97	0,06
12:30	-0,80	-0,95	-1,20	-0,98	0,20
14:30	-0,70	-0,70	-1,40	-0,93	0,40
16:30	-0,80	-1,00	-1,10	-0,97	0,15

Tratamiento: 40% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,90	-0,70	-1,10	-0,90	0,20
-1,20	-1,00	-1,30	-1,17	0,15
-1,20	-1,00	-1,00	-1,07	0,12
-0,50	-0,65	-1,10	-0,75	0,31

Tratamiento: 60% b1

Hora	Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
8:15	-0,80	-1,00	-1,30	-1,03	0,25
12:30	-1,10	-1,50	-1,40	-1,33	0,21
14:30	-1,00	-1,40	-1,40	-1,27	0,23
16:30	-0,85	-1,10	-0,90	-0,95	0,13

Tratamiento: 60% b2

Hoja 1	hoja 2	hoja 3	X	DS
-0,90	-1,30	-1,00	-1,07	0,21
-1,30	-1,30	-1,60	-1,40	0,17
-1,10	-0,90	-1,00	-1,00	0,10
-0,70	-0,80	-0,90	-0,80	0,10

ANEXO B

Datos promedios de área foliar (AF), peso seco foliar (PS) y área foliar específica (AFE) en cacao criollo Guasare, para cinco cursos de medición.

Tratamiento	AF (cm ²)	DS	P (gr)	DS	AFE (cm ² / gr)	DS
100%b1	56,192	30,964	0,379	0,199	150,409	25,602
100%b2	43,099	24,395	0,279	0,162	161,272	33,360
20%b1	108,681	31,640	0,751	0,260	148,213	24,373
20%b2	101,277	25,518	0,701	0,212	148,089	25,279
40%b1	96,041	30,728	0,691	0,216	140,477	19,743
40%b2	92,276	24,984	0,653	0,203	143,872	20,497
60%b1	78,375	19,501	0,630	0,182	127,958	26,090
60%b2	81,509	28,438	0,658	0,188	124,159	23,442

Datos experimentales promedios de: Contenido de clorofila (Clor), Contenido de nitrógeno (N) y relación clorofila nitrógeno (C / N) en cacao criollo Guasare para cinco cursos de medición.

Tratamiento	N (mg/gr)	DS	% (N)	DS	Clor (mg/g)	DS	C / N
100%b1	2,376	0,140	2,366	0,140	3,141	1,180	1,32
100%b2	2,514	0,269	2,501	0,267	3,106	1,499	1,24
20%b1	2,460	0,385	2,449	0,382	3,847	0,845	1,56
20%b2	2,766	0,337	2,754	0,338	3,828	0,930	1,38
40%b1	2,604	0,228	2,595	0,229	3,660	0,930	1,41
40%b2	2,524	0,320	2,511	0,315	3,701	0,791	1,47
60%b1	2,593	0,338	2,582	0,334	3,549	0,657	1,37
60%b2	2,589	0,279	2,575	0,277	3,259	0,888	1,26

Valores promedios de materia seca por tratamiento al final del ensayo en hojas (H), tallos (T), raíces (R) y materia seca total (MST), en cacao criollo Guasare

T. LUZ	TF	Nº PLANTA	H	T	R	MST
100%	b1	1	4,972	11,294	8,240	24,506
100%	b1	2	6,301	14,225	10,723	31,249
100%	b1	3	5,574	13,122	7,140	25,836
100%	b1	4	3,675	10,105	6,105	19,885

100%	b2	1	3,525	9,224	6,494	19,243
100%	b2	2	3,844	9,624	7,000	20,468
100%	b2	3	3,189	7,139	4,100	14,428
100%	b2	4	3,013	3,481	2,007	8,501

20%	b1	1	22,563	24,460	24,353	71,376
20%	b1	2	29,037	11,920	13,382	54,339
20%	b1	3	19,890	11,286	9,399	40,575
20%	b1	4	21,519	12,199	9,047	42,765

20%	b2	1	25,638	31,146	19,449	76,233
20%	b2	2	21,565	9,832	10,216	41,613
20%	b2	3	15,921	7,972	7,768	31,661
20%	b2	4	20,306	8,056	7,930	36,292

40%	b1	1	17,294	8,447	6,524	32,265
40%	b1	2	20,276	21,300	12,389	53,965
40%	b1	3	21,471	7,508	5,048	34,027
40%	b1	4	15,803	10,336	9,036	35,175

40%	b2	1	22,855	23,218	19,400	65,473
40%	b2	2	30,190	23,095	18,731	72,016
40%	b2	3	20,315	5,900	4,877	31,092
40%	b2	4	11,494	6,375	5,624	23,493

60%	b1	1	11,529	18,734	12,700	42,963
60%	b1	2	17,141	10,941	8,780	36,862
60%	b1	3	20,323	11,422	7,246	38,991
60%	b1	4	15,387	15,688	10,856	41,931

60%	b2	1	16,933	12,820	7,872	37,625
60%	b2	2	18,981	12,531	9,936	41,448
60%	b2	3	17,845	26,512	16,734	61,091
60%	b2	4	10,721	8,587	7,087	26,395

Valor acumulado de crecimiento en altura (cm.) por planta durante cinco meses de medición, en los diferentes tratamientos.

Bloq	Nº P.	Altura de la planta							
		100%		20%		40%		60%	
		b1	b2	b1	b2	b1	b2	b1	b2
I	1	1,5	*	14,45	18	22	4,5	7	4
	2	*	*	16	20	24	19	35	7,5
	3	*	1,5	11	24,5	5,5	10	10	5,5
	4	6,5	*	27	26,5	13	18	3	5,5
	5	*	*	7,5	7	4,5	3,5	5	*
	6	1,5	*	21	21	8	20,5	7,5	18,5
	7	7	*	27,5	66	5	16	20	10
	8	3,5	8	11	12	4	30	11	12,5
II	1	3	2,5	13	18,5	29	12	7,5	4,5
	2	0,5	*	1,5	16,5	33	7,5	4	10
	3	1,5	*	9,5	5	3,5	39	10	11
	4	13,5	*	42	18	6	16	6	16
	5	1	*	11	19	27	19	5,5	5
	6	2	1,5	9,5	36	16	25	1,5	10
	7	*	*	23	14,5	0,5	12	34	14
	8	5	1	12	6	32,5	13	4	31,5
III	1	4	*	42	27	40	6,5	3	3,5
	2	*	*	33	3,5	33	7	8,5	*
	3	*	4,5	29	4	41	4	10	53
	4	3	1,5	11,5	30,5	6	5	0	7
	5	3	2,5	8	1,5	5	6	32	4,5
	6	2	2	9	4,5	39	19	49	3
	7	2,5	1	13	8,5	13	4	38	7,5
	8	22	*	16	35	50	3,5	1	5,5
IV	1	*	*	5,5	*	5,5	7,5	5,5	2,5
	2	*	*	12	8	6,5	9,5	8	3,5
	3	1,5	2,5	14	4,5	3,5	1,5	3	1,5
	4	*	*	7	4,5	5,5	5	0,5	32
	5	2	*	14	1,5	43	3,5	3	*
	6	*	*	27	*	3,5	41	36,5	3
	7	1	*	19	5,5	3,5	*	2	*
	8	1	1	19	11	9	*	1	2,5

Valor acumulado de crecimiento en diámetro (cm.) por planta durante cinco meses de medición, en los diferentes tratamientos.

Bloq	N° P.	Diámetro del tallo a 10 cm							
		100%		20%		40%		60%	
		b1	b2	b1	b2	b1	b2	b1	b2
I	1	0,04	*	0,16	0,32	0,39	0,16	0,25	0,11
	2	*	*	0,49	0,18	0,49	0,27	0,44	0,18
	3	*	0,07	0,19	0,18	0,46	0,1	0,16	0,17
	4	0,2	*	0,29	0,27	0,48	0,49	0,09	0,08
	5	*	*	0,44	0,55	0,23	0,29	0,25	*
	6	0,22	*	0,22	0,51	0,3	0,35	0,17	0,27
	7	0,23	*	0,19	0,55	0,29	0,11	0,56	0,12
	8	0,08	0,01	0,48	0,14	0,08	0,24	0,46	0,29
II	1	0,06	0,11	0,32	0,32	0,25	0,27	0,35	0,12
	2	0,08	*	0,4	0,34	0,42	0,2	0,28	0,1
	3	0,07	*	0,36	0,43	0,09	0,44	0,02	0,38
	4	0,27	*	0,65	0,39	0,22	0,52	0,31	0,11
	5	0,39	*	0,28	0,56	0,28	0,34	0,13	0,08
	6	0,21	0,15	0,31	0,32	0,21	0,14	0,07	0,23
	7	*	*	0,49	0,26	0,34	0,29	0,34	0,56
	8	0,16	0,21	0,33	0,28	0,36	0,28	0,21	0,21
III	1	0,18	*	0,64	0,43	0,52	0,38	0,07	0,41
	2	*	*	0,2	0,16	0,55	0,21	0,08	*
	3	*	0,05	0,47	0,63	0,45	0,06	0,08	0,78
	4	0,08	0,22	0,36	0,24	0,25	0,31	0,09	0,16
	5	0,47	0,53	0,27	0,19	0,24	0,31	0,38	0,16
	6	0,51	0,08	0,2	0,12	0,56	0,33	0,5	0,33
	7	0,2	0,16	0,1	0,04	0,25	0,3	0,37	0,2
	8	0,55	*	0,15	0,43	0,51	0,45	0,07	0,33
IV	1	*	*	0,18	*	0,24	0,28	0,32	0,15
	2	*	*	0,28	0,25	0,1	0,14	0,09	0,02
	3	0,2	0,41	0,08	0,25	0,23	0,19	0,26	0,12
	4	*	*	0,37	0,31	0,22	0,3	0,12	0,4
	5	0,04	*	0,23	0,14	0,37	0,05	0,07	*
	6	*	*	0,35	*	0,19	0,4	0,31	0,24
	7	0,1	*	0,18	0,09	0,13	*	0,35	*
	8	0,35	0,49	0,39	0,14	0,2	*	0,04	0,19

Valor acumulado de hojas producidas por planta durante cinco meses de medición, en los diferentes tratamientos.

Bloq	N° P.	Numero de hojas							
		100%		20%		40%		60%	
		b1	b2	b1	b2	b1	b2	b1	b2
I	1	9	*	27	26	20	18	19	12
	2	*	*	34	45	23	24	26	25
	3	*	4	32	38	20	15	23	21
	4	15	2	39	29	39	44	10	24
	5	8	*	17	20	6	15	20	*
	6	*	*	44	33	16	33	29	24
	7	16	*	32	35	26	23	30	19
	8	12	*	34	32	15	24	18	19
II	1	14	14	24	14	40	23	22	11
	2	3	*	26	8	36	20	17	19
	3	8	*	27	19	20	46	20	33
	4	22	*	27	27	13	29	16	25
	5	7	*	26	13	34	28	24	22
	6	7	6	26	18	29	25	12	33
	7	*	*	36	22	2	20	26	21
	8	18	12	17	18	27	32	33	30
III	1	18	*	31	21	32	22	21	25
	2	*	*	27	11	29	18	25	*
	3	*	12	24	21	33	16	23	15
	4	14	10	28	25	16	19	0	26
	5	17	9	20	8	22	20	20	17
	6	8	12	16	20	24	22	34	14
	7	14	8	21	18	23	19	19	18
	8	13	*	29	21	41	16	2	20
IV	1	*	*	17	*	24	17	16	13
	2	*	*	28	16	22	25	28	16
	3	7	9	27	12	12	16	14	15
	4	*	*	15	13	27	14	2	12
	5	9	*	21	18	37	11	15	*
	6	*	*	26	*	17	27	24	13
	7	3	*	29	24	23	*	10	*
	8	8	10	24	22	22	*	6	14