

INFLUENCIA DE LA SOMBRA DE LOS ARBOLES EN LA COMPOSICION QUIMICA Y EL RENDIMIENTO DE LOS PASTOS

Gertrudis Pentón y F. Blanco

**Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"
Matanzas, Cuba**

La luz constituye una fuente vital para la vida y un regulador extremadamente importante de las actividades diarias y estacionales de las plantas y los animales. Su incidencia varía en intensidad, duración, composición espectral y distribución espacial.

La luz visible no es más que una pequeña parte de un espectro extenso de radiación de energía electromagnética, donde además se encuentran los rayos x, los gamma, los infrarrojos y los ultravioleta (Odum, 1972), cuya longitud de onda oscila de 390 a 760 m μ .

Bajo el dosel de los árboles, según Evans (1968), la transmisión de la luz es mayor cerca del zenit y experimenta una caída al disminuir la altitud. Este autor sugiere que la influencia de la época del año sobre la transmisión de la luz se incrementa en la latitud.

La luz que llega al estrato herbáceo en los sistemas arbolados es de varias clases:

- Luz directa que penetra por los espacios o ventanas del dosel, como resultado de la estructura de las copas de los árboles y del espaciado entre ellos.
- Luz difusa que penetra por vías similares a las de la luz directa.
- Luz difusa transmitida a través de las hojas, con importantes alteraciones desde el punto de vista espectral.
- Luz reflejada por el follaje y otros componentes estructurales del estrato arbóreo (Blanco, F., inédito).

El grado de iluminación que recibe un pastizal provoca variaciones en los rendimientos, modifica el contenido bioquímico de su biomasa (Ericksen y Whitney, 1981) e influye en los niveles de extracción y utilización de los nutrientes, lo que está muy relacionado con el estatus mineral del suelo y su dinámica, en interacción con otros factores naturales tales como el clima, la presencia de la macro y la microfauna y la competencia o la interferencia de árboles, arbustos y otras plantas vecinas. En este sentido y a partir de la introducción de los sistemas agroforestales en la ganadería cubana, se presenta la disyuntiva de cuál es el

comportamiento fisiológico y agroprodutivo de los pastos en presencia de los árboles. Sobre esta idea se intenta, en el presente trabajo, reseñar un conjunto de resultados de las investigaciones realizadas acerca de la influencia de la sombra en la composición química y el rendimiento de las gramíneas y leguminosas prateras y forrajeras.

Biosíntesis de pigmentos en las plantas bajo sombra

El problema de la influencia de la sombra producida por los árboles sobre la acumulación de pigmentos en las hojas es abordado desde hace años por varios autores, quienes refieren la alta dependencia entre la biosíntesis de clorofila y las condiciones de iluminación.

En este sentido, parecen existir diferencias en la respuesta según la especie de planta; así Gaussoin, Baltensperger y Coffey (1988), al realizar experimentos con *Cynodon* sp. bajo los tratamientos de alta intensidad luminosa (160 micromoles/s/m²) y baja intensidad (16 micromoles/s/m²), obtuvieron que la disminución de la luz fue en detrimento de la clorofila; mientras que en estudios efectuados en Cuba sobre los procesos fisiológicos en alfalfa (*Medicago sativa*), trébol (*Trifolium* sp.) y rhodes (*Chloris gayana*), la sombra contribuyó a la biosíntesis de pigmentos verdes y amarillos y se notó un incremento marcado en el porcentaje de clorofila B (Capote y Shischenko, 1974).

Al estudiar el efecto de diferentes factores ambientales sobre los procesos fisiológicos de las gramíneas y las leguminosas, Capote y Shischenko (1977) sugirieron que la formación de pigmentos fue sensible en un mayor grado a los cambios en las condiciones de nutrición mineral que a la disminución de la intensidad luminosa. No obstante, con un medio nutritivo deficiente de N en las plantas mencionadas anteriormente la cantidad de clorofila fue 1,6 veces mayor bajo la sombra que a cielo abierto. Este resultado confirmó que la disminución de la luz fue más

eficaz en las condiciones de un régimen desfavorable de nutrición mineral, el cual estaba deficiente en P, K o N.

En un ensayo realizado bajo condiciones de 73 % de luz, Shischenko y Capote (1976) encontraron que el contenido de clorofila y caroteno en las hojas aumentó con la disminución de la luz, lo que se interpreta como una posible evidencia de la adaptación del aparato fotosintético de las plantas al régimen de sombra. También Odum (1972) planteó que "las plantas adaptadas a la sombra tienden a tener una mayor concentración de clorofila que las plantas adaptadas a la luz", lo cual posibilita la capacidad de atrapar y consumir la mayor cantidad posible de luz difusa.

Composición mineral

Según las observaciones de varios autores, la atenuación de la luz recibida por un pastizal propicia cambios en la composición química de su biomasa (Daccarett y Blydenstein, 1968; Odum, 1972; Pezo, 1981; Bronstein, 1984). Algunos investigadores como Burton, Jackson y Knox (1959) y Anderson (1978) consideraron que bajo esta condición se producen marcados incrementos en el contenido de cenizas y nutrimentos minerales. Ello pudiera explicarse por el hecho de que la sombra, según Murray y Nichols (1968), reduce el metabolismo en las hojas y limita el desbalance entre los productos fotosintéticos y el suministro de minerales. En este sentido, Capote y Shischenko (1977) encontraron, a partir de un experimento realizado en macetas con *Trifolium alexandrinum*, *M. sativa* y *Ch. gayana*, que el cambio en el régimen de radiación con tendencia a la disminución de la luz fue más efectivo bajo las condiciones desfavorables de nutrición mineral en las gramíneas.

No obstante a lo anterior, parecen existir divergencias de criterio en cuanto a la tendencia de los cambios bioquímicos en los pastos bajo sombra, hecho que pudiera estar muy influenciado por las diferencias en las condiciones de estudio.

Así, Chen y Bong (1983) informaron el efecto negativo de la sombra proyectada por una cubierta cerrada de palma sobre plantas pratenses; ellos observaron que todos los minerales de las plantas disminuyeron en el tiempo, excepto el P y el Mg. Los menores niveles fueron apreciados en las especies de *Brachiaria* y los mayores correspondieron a *Panicum maximum*, *Axonopus compressus* y *Paspalum conjugatum*. Guevara, Ruíz, Curbelo, Jiménez y Canino (1994) señalaron que en un experimento con guinea común (*P. maximum*)

bajo diferentes condiciones de luz (47, 62 y 100 % de luminosidad), la variación en el contenido de Ca y P no fue significativa. En Australia, con un nivel de radiación de 55 % de luz en verano y 35 % en invierno, la concentración de K en plantas de *Paspalum notatum* resultó mayor a la sombra que al sol y el contenido de P no difirió (Wilson, Cameron, Shelton y Hill, 1990); a su vez, Wilson, Hill, Cameron y Shelton (1990) destacaron que en un área uniforme de *P. notatum* que crecía bajo sombra, el pasto presentó una mayor proporción de P que al sol.

En Malasia, en una prueba realizada en macetas, Wong (1990) estudió la respuesta de cuatro leguminosas a diferentes intensidades de sombra (100, 56, 34 y 18 % en invierno) y observó que el promedio de fósforo, calcio, magnesio y potasio se incrementó con la disminución de la luz; *Stylosanthes* sp. fue la planta de mayor contenido de Ca y *Leucaena peruviana* la que acumuló más K.

El análisis de estos resultados sugiere que el P debe ser tenido en consideración como el posible elemento más beneficiado y estable en las condiciones de atenuación de la luz; además, en el caso de las gramíneas, el por ciento de sombra favorable al mejoramiento y la estabilidad de su composición mineral oscila alrededor del 50 %.

Contenido de nitrógeno

En el acápite anterior se analizó el comportamiento de los elementos minerales en las plantas bajo sombra, excepto el N, que por la importancia que tiene como constituyente esencial de las proteínas promueve un análisis más detallado. A partir de esta idea, muchos autores parecen coincidir en el hecho de que en pastizales establecidos bajo árboles que a través de sus capas permitan desde el 15 hasta el 60 % de penetración de la luz, se alcanzan mayores niveles de sustancias nitrogenadas (Bronstein, 1984; Rodríguez, 1985).

Chen y Bong (1983), en un ensayo efectuado bajo una cubierta cerrada de palma, notaron que el *Desmodium ovalifolium* en condiciones de severo sombreado alcanzó un contenido de 34 kg de N/ha/año. Por su parte, Wong (1990) observó que la proteína cruda, que es un índice del N acumulado en la planta, se incrementó con intensidades de sombra desde 18-56 % de luz diurna. Las leguminosas de mayor rendimiento de PC fueron *Pueraria phaseoloides*, *Calopogonium mucunoides* y *Calopogonium coeruleum*.

En Sanford (sureste de Queensland, Australia) Wilson, Hill, Cameron y Chelton (1990) encontraron una mayor proporción de N en

plantas de *P. notatum* establecidas bajo una plantación de *Eucalyptus grandis*, comparadas con un testigo a sol abierto. Holmes y Cawling (1993), al estudiar el efecto de la sombra en el comportamiento morfofisiológico de seis especies de hierbas subtropicales, demostraron que en todos los casos el contenido de nitrógeno en las hojas aumentó bajo un 80 % de sombra. Fleischer, Masuda y Goto (1984) informaron que el contenido de N en *P. maximum* disminuyó a medida que aumentó la intensidad de luz natural. También Wong y Wilson (1980) señalaron que la acumulación de N en esta especie mejoró significativamente bajo la sombra, la cual permitió entre el 60 y 40 % de luz solar total.

Estos resultados coinciden con los de Guevara et al. (1994), quienes encontraron diferencias significativas para la PB a favor de las áreas con sombra, en un ensayo con guinea común bajo algarrobo común (*Albizia saman*).

Daccarett y Blydenstein (1968), en un estudio acerca de la influencia de los árboles de leguminosas y no leguminosas sobre el follaje de los pastos que crecían bajo ellos, encontraron que la estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) asociada a *Erythrina poeppigiana*, con un 44 % de penetrabilidad de la luz, alcanzó un 8,4 % de proteína; mientras que ese mismo pasto a pleno sol tenía un contenido de 6 %.

Wilson, Catchpoole y Weier (1986) estudiaron un pastizal de *P. maximum* con dos intensidades de luz (100 y 37 % de transmisión) y obtuvieron que el N total presente en el área foliar fue de 52 kg/ha en el área sin sombra comparado con 107 kg/ha en la parcela con sombra. Según estos autores, el incremento no pareció deberse a la transferencia de N de las raíces, aunque estas contenían una considerable cantidad del elemento (197 y 191 kg/ha respectivamente); además, ellos indicaron una posible estimulación de la extracción de N por la sombra, que se hace evidente bajo las condiciones en que el nitrógeno disponible en el suelo es un factor limitante. Esto último concuerda con lo planteado por Anon (1990), quien consideró que la sombra incrementa la absorción de N en la planta al mejorar la mineralización de este en el suelo.

En un experimento realizado con *P. notatum* bajo árboles, donde los niveles de radiación recibida por el estrato herbáceo fueron de 55 % de luz en pleno verano y 35 % en invierno, el total de nitrógeno extraído del suelo fue superior a la sombra (67 % en verano y 18 % en invierno) que a un 100 % de incidencia de luz (Wilson, Cameron, Shelton y Hill, 1990).

Libreros, Benavides, Kass y Pezo (1994b) observaron que en la extracción de nitrógeno se presentaron diferencias significativas entre el monocultivo y el pasto asociado con *E. poeppigiana*. En el caso de los demás minerales,

la gramínea no asociada efectuó la menor extracción, la cual aumentó en la medida que se incrementó el depósito de material de poda de los árboles.

Dinámica glúcido-nitrógeno

La dinámica glúcido-nitrógeno reviste gran significación en el metabolismo de las plantas (Hughes, 1965). Spencer (1958) y Kessler (1964) indicaron que aunque en muchas plantas la reducción del nitrato de amonio ocurre por reacciones fotoquímicas, generalmente esta transformación sucede a expensas de los azúcares. Los nitratos absorbidos por las raíces deben ser reducidos a amoníaco para que el nitrógeno pueda ser utilizado en la síntesis de las sustancias nitrogenadas. Los átomos de hidrógeno necesarios para esta reducción proceden de los procesos oxidativos de la respiración (Bonner y Galston, 1968).

Parece haberse establecido universalmente que la reducción de la intensidad de la luz disminuye la concentración de carbohidratos no estructurales en las gramíneas y las leguminosas (Alberda, 1965) y en estas circunstancias, mientras se afectan negativamente los azúcares solubles, se producen marcados incrementos en el contenido de nitrógeno (Burton, Jackson y Knox, 1959; Deinum, 1966b; Anderson, 1978). Ello puede explicarse por el hecho de que en condiciones de bajo nivel de intensidad de luz, el nitrógeno soluble total se incrementa, debido inicialmente a la acumulación de nitratos en las hojas, aun sin fertilización nitrogenada.

En este sentido, Schöberlein y Lampeter (1977) sugirieron que las intensidades de luz menores que 6,27 MJ/m²/día condujeron a un decremento del azúcar y un incremento del contenido de NO₃-N.

Este mismo comportamiento se manifiesta en condiciones de sombra natural por el efecto de la presencia de árboles, de acuerdo con lo afirmado por Daccarett y Blydenstein (1968) y Bronstein (1984). Según las consideraciones de Deinum (1966b), la disminución en la concentración de carbohidratos solubles responde al hecho de que la planta que permanece a la sombra o en la oscuridad requiere más energía para reducir los nitratos, para lo cual utiliza los azúcares solubles. Además, este autor planteó que el aumento en la intensidad de la luz, junto a la elevación de la temperatura, implica un incremento en el nivel de carbohidratos estructurales debido a una mayor tasa de transpiración.

Fleischer, Masuda y Goto (1984), en un estudio sobre el efecto de la intensidad de la luz en pastizales de *P. maximum* var. *trichoglume* cv.

Petrie, sometieron las plantas a diferentes intensidades de luz: 11, 26, 42, 60, 75 y 100 % de luz natural, con una radiación promedio diaria de 19,15 MJ/m² y 7,14 h de luz diaria, y obtuvieron que las mayores intensidades de luz fueron en detrimento del contenido de N; mientras que los componentes de la pared celular aumentaron.

Benavides, Rodríguez y Borel (1994), en un análisis sobre king grass, *Pennisetum purpureum* y *E. poeppigiana* en asociación, encontraron una alta correlación entre el porcentaje de intercepción de la luz por los árboles (X) y los contenidos de MS (Y₁) y PC (Y₂) del pasto, que puede describirse en las siguientes ecuaciones:

$$Y_1 = 22,08 e^{-0,0012x} \quad (r^2 = 0,73)$$

$$Y_2 = 4,69 e^{0,064x} \quad (r^2 = 0,86)$$

Estos autores hallaron además que el contenido de PC del pasto fue un 27 % mayor en la asociación que en el testigo.

Algunos investigadores han observado que en condiciones de elevada reducción de nitratos y de asimilación en la oscuridad, los niveles de glúcidos en la planta disminuyeron de forma significativa. Sin embargo, esta reducción no parece ser tan grande en presencia de la luz, a causa de los efectos compensadores de la fotosíntesis (Devlin, 1979).

Spencer (1958) y Kessler (1964) plantearon que la intensidad de la luz afecta la composición química de las plantas de manera antagónica que la fertilización nitrogenada. En tal sentido, Alberda (1965) y Deinum (1966a) sugirieron que cuando el nitrógeno es un factor limitante y existe una alta intensidad luminosa, se incrementa la producción de MS, pero ocurre un agotamiento de los nitratos y la proteína. Sin embargo según Deinum (1971), al aumentar el suministro de N y en presencia de una alta intensidad de luz, disminuye el contenido de nitratos, pero aumenta el por ciento de proteína y carbohidratos solubles.

Rendimiento

La modificación en la distribución espectral de la radiación solar tiene una marcada incidencia sobre la fotosíntesis (Wong y Wilson, 1980) y en la producción del pasto subyacente (Anderson y Batini, 1983).

Existe un fenómeno colateral que afecta la fotosíntesis en función de la intensidad de la radiación solar y su influencia sobre el régimen hídrico de la planta. Penka (1967) observó que muchas plantas cierran sus estomas en las horas de mayor intensidad de radiación en respuesta al déficit hídrico, con lo que reducen la fotosíntesis.

En condiciones similares, Blanco (1986) halló una correlación negativa entre la intensidad de la radiación solar y la producción de pastos rastreros tropicales.

Estos hechos pueden considerarse indicadores de que una determinada reducción de la radiación solar pudiera ser beneficiosa para algunos pastos. No obstante, según Hernández y Simón (1993) la magnitud del efecto depende de las especies del estrato inferior y las interrelaciones que se suceden varían según los árboles presentes. De este modo, Ericksen y Whitney (1981) encontraron una menor reducción del crecimiento como producto de la sombra en *P. maximum*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria miliniformis* y *Pennisetum clandestinum*. Además, Guevara, Curbelo, Canino, Rodríguez y Guevara (1996) consideraron que en una asociación de *P. maximum*, *C. nlemfuensis* y *A. saman*, la respuesta a la sombra natural tuvo un carácter diferencial, según la especie de pasto.

En experimentos realizados en regiones semiáridas, Klusmann (1988) observó que cuando aproximadamente el 10 % del área estaba cubierta de árboles, la producción anual de biomasa fue superior que la de las áreas desprovistas de estos. Bajo el criterio de que el nivel de sombra se considere ligero, Blanco, F. (inédito) recomienda no sembrar plantaciones que excedan los 500 árboles/ha y orientar la siembra de este a oeste para reducir la sombra sobre el pasto en el sistema. Cameron, Rance, Jones y Charles-Edwards (1991) consideran que una población final de 50-80 árboles/ha puede mantener una producción satisfactoria de la pradera. Además, Hughes (1968) estimó que con un rango de luz desde 100 % hasta una moderada sombra de 80 %, la producción de MS se mantuvo relativamente constante.

En un ensayo para evaluar tres leguminosas tropicales bajo un cocal (*Cocos nucifera*) en producción, con un marco de plantación de 7 x 6 m, se obtuvieron a las 16 semanas rendimientos de 0,6 y 0,4 t de MS/ha en *Clitoria ternatea* cv. SN-139 y *Neonotonia wightii* cv. Tinaroo respectivamente (Pérez-Carmenate, Borroto, Mazorra, Carrera, Osuna, Arencibia, Rodríguez y García, 1995). Libreros, Benavides, Kass y Pezo (1994a) señalaron que la producción de MS del king grass se incrementó en un 66 y 144 % en los tratamientos asociados a *E. poeppigiana* con respecto al pasto en monocultivo.

En Sanford (Australia) Wilson, Hill, Cameron y Shelton (1990) hallaron que en un área uniforme de *P. notatum* que crecía bajo una plantación arbórea, el rendimiento de MS acumulado fue un 35 % mayor en la sombra que a pleno sol. En coincidencia con estos autores, Ruíz, Febles, Díaz, Hernández y Díaz (1994), al medir el efecto

de la sombra producida por *Leucaena leucocephala* cv. Perú en algunos indicadores del comportamiento del pasto estrella (*C. nlemfuensis*), fertilizado con 90 kg de N/ha o sin nitrógeno, notaron que el rendimiento del pasto (con o sin N) fue mayor en la sombra que sin esta, y los valores fueron de 650, 520 y 212 g/m², respectivamente.

También Calzadilla, Leyva, Torres, Sánchez y Martínez (1996) han constatado la rehabilitación ecológica de las áreas donde se han establecido árboles y la influencia de estos en el rendimiento del pasto, lo que se manifestó en la producción de carne (hasta 601 g/animal/día), superior a la media de los sistemas tradicionales (450 g/animal/día).

En otros estudios de evaluación acerca del efecto de la presencia de *E. poeppigiana* y *Cordia alliodora* (establecidos con una sola densidad y dos podas al año) sobre la producción de pasto estrella, se encontró que el rendimiento del pasto fue mayor asociado a *E. poeppigiana* que bajo *C. alliodora* o en el pasto sin árboles (Bronstein, 1984). Guevara et al. (1994), al evaluar el efecto de la sombra del algarrobo común (*A. saman*) sobre el comportamiento productivo del pastizal, obtuvieron en el ensayo correspondiente a pasto estrella asociado con *Albizia* y sin asociar que no existió diferencia significativa entre los tratamientos para el rendimiento; en el caso de la asociación guinea likoni (*P. maximum*) con estrella (*C. nlemfuensis*) se encontró una superioridad significativa del rendimiento al sol (262,2 kg/ha) en relación con la sombra (232,3 kg/ha); en el ensayo con guinea común se halló un mayor rendimiento en la sombra (2 512 kg/ha/rotación) con una intensidad luminosa de 47-62 % y a sol abierto fue de 2 347 kg/ha/rotación.

Milera (1994), al evaluar *P. maximum* en un experimento realizado durante 3 años, consistente en la inclusión de un banco de proteína de *L. leucocephala* cv. Perú en el 20 % de un área de pastoreo (A) y un control con la gramínea solamente (B), observó que la disponibilidad de esta no difirió entre los tratamientos (27,3 kg de MS/vaca/día), lo cual puede ser un índice de la capacidad adaptativa de la planta, que si bien no fue beneficiada, tampoco se mostró afectada por la sombra moderada.

En el subtrópico sudafricano Holmes y Cawling (1993) obtuvieron que el peso de la materia seca final fue similar a cielo abierto y bajo un 40 % de sombra; sin embargo, el 80 % de sombra condicionó una marcada disminución de este indicador para todas las especies. Deinum (1966a) y Capote y Shishchenko (1974) sugieren que la sombra estimula un aumento en el contenido de humedad del pasto, lo que puede afectar el rendimiento de materia seca. Además,

las investigaciones de Blackman y Wilson (1954), Egara y Jones (1977) y Thomas y Norris (1981) mostraron que la sombra incrementó el índice de área foliar y redujo el peso de las hojas. Por otra parte, es conocido el descenso que ocurre en el rendimiento de las hojas, tallos y raíces al disminuir la intensidad de la luz (Tang, 1986).

Fleischer, Masuda y Goto (1984) plantearon que el rendimiento promedio de MS en *P. maximum* var. *trichoglume* cv. Petrie varió desde 15,66 hasta 793,06 mg/m² al aumentar la intensidad de luz desde 11 hasta 100 %. Benavides et al. (1994), al evaluar la producción de pasto en una asociación con árboles, notaron que el rendimiento experimentó una caída significativa en condiciones de alta densidad de siembra y baja frecuencia de poda de los árboles; ello coincidió con la menor incidencia de luz sobre el pasto.

Al relacionar los datos de la intercepción de luz solar con la producción de biomasa del pasto se encontró una función:

$$Y = 5781 e^{0,0126x} \quad (r = 0,84 \text{ } P < 0,05)$$

donde:

Y = Disminución de la producción de MS del pasto

X = Porcentaje de intercepción de luz

Acciaresi, Ansín y Marlats (1994) consideraron que existe un estrecho vínculo entre la alta densidad arbórea y la baja producción de pastos. En la India, Moolani (1962) observó que el rendimiento promedio de la soya en parcelas donde la sombra permitía un 58 % de iluminación natural, representaba solo un 32 % del obtenido en parcelas análogas con iluminación natural completa. Kessler (1992), por su parte, manifestó que la reducción de la luz bajo los árboles pudiera explicar el hecho de la disminución en la producción de sorghum (70 y 50 %) bajo el dosel de *Parkia bliglobosa* y *Villetaria paradoxa* respectivamente. En Brasil, un estudio de cuatro gramíneas forrajeras con diferente grado de sombra (25, 50 y 80 %) mostró una disminución de 5, 41 y 78 % de la producción de MS en relación con el testigo; las plantas empleadas fueron *Brachiaria decumbens*, *Digitaria decumbens*, *Hemarthria altissima* y *P. notatum* (Schreiner, 1987). Por otro lado Chen y Bong (1983), al evaluar 15 gramíneas bajo una cubierta cerrada de palma aceitera, encontraron que el mayor rendimiento (17,7 kg/ha/año) correspondió a *B. decumbens* y algunas gramíneas solo produjeron rendimientos insignificantes.

En el trópico húmedo de Costa Rica, bajo árboles de guayaba y con una variación de la intensidad de la luz (13-33 % de luz directa), la producción de MS disminuyó considerablemente en plantas como *A. compressus* y *P. conjugatum*

(Somarriba, 1988). En Colombia también se han desarrollado investigaciones sobre el arbolado y su influencia en el estrato inferior. Así Carvalho, Freitas y Andrade (1995) midieron el efecto de la sombra de una plantación de *Anadenanthera macrocarpa* Benth. sobre el establecimiento de *P. maximum* cv. Vencedor, *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Melinis minutiflora*, *B. brizantha* cv. Marandú y *B. decumbens*; en verano la transmisión de luz en la sombra fue de un 30 a 40 % comparada con el testigo. A los 5 meses después de la siembra la producción relativa de MS en relación con el testigo sin sombra fue de 49, 33, 16, 15 y 13 % para *B. brizantha*, *B. decumbens*, *M. minutiflora*, *P. maximum* y *A. gayanus*. Estos resultados indicaron que en las condiciones existentes en un sub-bosque, solo las dos primeras especies tienen potencial para establecerse en áreas bajo sombra.

Otras investigaciones realizadas en Pucallpa (Perú) indicaron que bajo la sombra cerrada ocurrió un decremento del rendimiento y las plantas más tolerantes fueron *D. ovalifolium* CIAT-350, *Centrosema acutifolium* CIAT-5112, *Centrosema macrocarpum* CIAT-5713 y 5735, *A. gayanus* CIAT-621, *B. brizantha* CIAT-6780 y *P. maximum* 6200.

CONCLUSIONES

El estudio de la sombra producida por los árboles ha sido un proceso de aproximaciones sucesivas, en el cual subsisten muchas interrogantes que no permiten arribar aún a conclusiones definitivas sobre el fenómeno.

No obstante, los resultados de las investigaciones sugieren que en los sistemas agrosilvopastoriles, además de la sombra, deben considerarse otros fenómenos ecofisiológicos como la competencia de los árboles con el estrato herbáceo, la alelopatía, la humedad, la biota del suelo y la fertilización orgánica. En general, se aprecia una tendencia a que en las condiciones del trópico las plantas prateras pueden desarrollarse favorablemente con alrededor de un 30 % de sombra, con lo cual alcanzan una mayor concentración de clorofila.

En cuanto a la constitución mineral, todo parece indicar que la intensidad de sombra en un rango de 20-50 % condiciona un aumento en el contenido de cenizas, fósforo y nitrógeno; además, en estas circunstancias la dinámica glúcido-nitrógeno es inversa. De ahí que el rendimiento de las plantas se vea afectado cuando el nivel de sombra supera el 26 %, comportamiento muy influenciado por las especies presentes en el sistema. Se ha evidenciado que la sombra estimula la absorción de nitrógeno por la planta, al mejorar la

mineralización de este en el suelo, lo que está condicionado por la presencia del árbol y el efecto conjunto de la atenuación de la intensidad luminosa, además de una mayor disponibilidad de nutrimentos.

Es de destacar que en estos resultados la guinea y el *D. ovalifolium* parecen situarse como los de mayor índice de adaptabilidad a las condiciones de un sistema silvopastoril.

Se sugiere que por la importancia que están tomando estos sistemas en la agricultura de los trópicos, se continúe profundizando sobre la incidencia del arbolado en el desarrollo de un estrato vegetal que supla los requerimientos nutricionales de la masa ganadera.

CONCLUSIONS

The study of the tree-generated shade has been a process of successive approaches still with many interrogatives that hinder the making of definitive conclusions about the phenomenon. Notwithstanding, research results suggest that ecophysiological phenomena such as the competition of the trees with the herbaceous layer, allelopathy, moisture, soil biota and organic fertilization are to be considered in the agrosilvopastoral systems, in addition to the shade. It is the general belief that pastures can grow favourably in the tropics, with about 30 % of shade, and there is a tendency to higher chlorophyll concentration in the species adapted to this slight shading.

As to mineral constitution, by all indications, shade intensity in the order of 20-50 % conditions an increase in the content of ashes, phosphorous and nitrogen; moreover, under these circumstances the carbohydrate-nitrogen dynamics is inverse. Hence, a shade level over 26 % affects the plant yield due to the species present in the system. Shading stimulates the nitrogen absorption by the plant, improving its mineralization in the soil, influenced by the presence of the tree with the resulting diminution of the light density, besides a higher food availability.

The higher index of adaptability to the silvopastoral system conditions is displayed by *D. ovalifolium* and guinea.

Further studies on the influence of trees in the development of a herbaceous layer that supplies the livestock nutritional needs are here suggested, because of the importance these systems are gaining for tropical agriculture.

REFERENCIAS

ACCIARESI, H.; ANSIN, O.E. & MARLATS, R.M.
1994. Sistemas silvopastoriles. Efectos de

- la densidad arbórea en la penetración solar y producción de forraje en rodales de álamo (*Populus deltoides* Marsh). **Agroforestería en Las Américas**. 1 (4):6
- ALBERDA, T. 1965. The influence of temperature, light intensity and nitrate concentration on dry matter production and chemical composition of *Lolium perenne* L. **Neth. J. agric. Sci.** 13:335
- ANDERSON, G.W. 1978. Productivity of crops and pasture under trees. In: Integrating agriculture and forestry. (Eds. K.N.W. Howes and R.A. Rummary). CSIRO, Australia. p. 58
- ANDERSON, G.W. & BATINI, F.E. 1983. Pasture, sheep and timber production from agroforestry systems with subterranean clover sown under 15-year-old *Pinus radiata* by a method simulating aerial seeding. **Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.** 23:123
- ANON. 1990. Program AM: Pasture management and livestock production. **CSIRO. Division of Tropical Crops and Pastures. Annual Report**. p. 10
- BENAVIDES, J.E.; RODRIGUEZ, R.A. & BOREL, R. 1994. Producción y calidad del forraje de king grass (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*) y poró (*Erythrina poeppigiana*) en asociación. En: Árboles y arbustos forrajeros en América Central. (Ed. J.E. Benavides). CATIE. Turrialba, Costa Rica. Vol. II, p. 441
- BLACKMAN, G.E. & WILSON, G.L. 1954. Physiological and ecological studies in analysis of plant environment. IX. Adaptive changes in the vegetative growth and development of *Helianthus annuus* induced by an alternation in light level. **Ann. Bot.** 18:71
- BLANCO, F. 1986. Cambios e interacciones de la composición botánica, el rendimiento y la calidad en tres pastos tropicales. Tesis presentada en opción al grado de Candidato a Dr. en Ciencias Agrícolas. Escuela Superior de Agricultura de Praga, Checoslovaquia. 175 p.
- BLANCO, F. 1991. La persistencia y el deterioro de los pastizales. **Pastos y Forrajes**. 14:87
- BONNER, J. & GALSTON, A.W. 1968. El nitrógeno. Su metabolismo y economía en las plantas y en la naturaleza. En: Principios de fisiología vegetal. Edición Revolucionaria. La Habana, Cuba. p. 248
- BRONSTEIN, G.E. 1984. Producción comparada de una pastura de *Cynodon plectostachyus* asociada con árboles de *Cordia alliodora*, con árboles de *Erythrina poeppigiana* y sin árboles. Tesis Mag. Sc. UCR/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 109 p.
- BURTON, G.W.; JACKSON, J.E. & KNOX, F.E. 1959. The influence of light reduction upon the production, persistence and chemical composition of coastal bermuda grass (*Cynodon dactylon*). **Agron. J.** 51:537
- CALZADILLA, E.; LEYVA, B.; TORRES, J.; SANCHEZ, J. & MARTINEZ, A. 1996. Árboles de sombra en pastizales. Resúmenes. Taller Internacional "Los Árboles en los Sistemas de Producción Ganadera". EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 58
- CAMERON, D.M.; RANCE, S.J.; JONES, R.M. & CHARLES-EDWARDS, D.A. 1991. Trees and pasture: a study on the effects of spacing. **Agroforestry Today**. 3:8
- CAPOTE, S. & SHISHCHENKO, S.V. 1974. Investigation of physiological processes in alfalfa, clover and Rhodes grass in Cuba, with respect to conditions of lighting and root feeding. In: Biological and physiological aspects of the intensification of grassland utilization. Proc. XII Int. Grassld Congr., Moscow. p. 62
- CAPOTE, S. & SHISHCHENKO, S.V. 1977. Efecto de diferentes factores ambientales sobre procesos fisiológicos de gramíneas y leguminosas. I. Alfalfa, trébol, y hierba Rhodes, bajo régimen simulado de pastoreo. **Ciencias Biológicas**. 1:41
- CARVALHO, MARGARIDA M.; FREITAS, V.P. & ANDRADE, A.C. 1995. Crescimento inicial de cinco gramíneas tropicais em um sub-bosque de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.). **Pasturas Tropicales**. 17(1):24
- CHEN, C.P. & BONG, JULITA I. 1983. Performance of tropical forages under the closed canopy of the oil palm. I. Grasses. **Mardi. Research Bulletin**. 11:248
- DACCARETT, M. & BLYDENSTEIN, J. 1968. La influencia de árboles leguminosos y no

- leguminosos sobre el forraje que crece bajo ellos. **Turrialba**. 18:405
- DEINUM, B. 1966a. Climate, nitrogen and grass. Research into the influence of light intensity, temperature, water supply and nitrogen on the production and chemical composition of grass. **Meded. LandbHogesch. Wageningen**. 68(12):1
- DEINUM, B. 1966b. Influence of some climatological factors on the chemical composition and feeding value of herbage. Proc. X Int. Grassld. Cong. Helsinki, Finland. Sect. 2, Pap. 15, p. 4
- DEINUM, B. 1971. Climate, nitrogen and grass. 3. Some effects of light intensity on nitrogen metabolism. **Neth. J. Agric. Sci.** 19:184
- DEVLIN, R.M. 1979. El metabolismo del nitrógeno. En: Fisiología vegetal. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. p. 295
- EGARA, K. & JONES, R.J. 1977. Effect of shading on the seedling growth of the leguminous shrub *Leucaena leucocephala*. **Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.** 17:976
- ERICKSEN, F.I. & WHITNEY, A.S. 1981. Effects of light intensity on growth of some tropical forage species. 1. Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. **Agron. J.** 73:427
- EVANS, G.C. 1968. Model and measurement in the study of woodland light climates. In: Light as an ecological factor. (Eds. R. Bainbridge, G.C. Evans & O. Rackham). Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh. p. 53
- FLEISCHER, J.E.; MASUDA, Y. & GOTO, I. 1984. The effect of light intensity on the productivity and nutritive value of green panic (*Panicum maximum* var. *trichoglume* cv. *Petrie*). **Journal of Japanese Society of Grassland Science**. 30:191
- GAUSSOIN, R.E.; BALTENSPERGER, A.A. & COFFEY, B.N. 1988. Response of 32 bermudagrass clones to reduced light intensity. **HortScience**. 23:178
- GUEVARA, R.; CURBELO, L.; CANINO, E.; RODRIGUEZ, NIEVES & GUEVARA, G. 1996. Efecto de la sombra natural del algarrobo común (*Albizia saman*) sobre los rendimientos y la calidad del pastizal. Resúmenes. Taller Internacional "Los Arboles en los Sistemas de Producción Ganadera". EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 55
- GUEVARA, R.; RUIZ, R.; CURBELO, L.; JIMENEZ, A. & CANINO, E. 1994. Efecto de la sombra del algarrobo común (*Samanea saman*) sobre el comportamiento productivo del pastizal. Resúmenes. Taller Internacional "Sistemas Silvopastoriles en la Producción Ganadera". EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 54
- HERNANDEZ, I. & SIMON, L. 1993. Los sistemas silvopastoriles: Empleo de la agroforestería en las explotaciones ganaderas. **Pastos y Forrajes**. 16:99
- HOLMES, P.M. & COWLING, R.M. 1993. Effects of shade on seedling growth, morphology and leaf photosynthesis in six subtropical thicket species from the eastern Cape, South Africa. **Forest Ecology and Management**. 61:199
- HUGHES, A.P. 1968. The importance of light compared with other factors affecting plant growth. In: Light as an ecological factor (Eds. R. Bainbridge, G.C. Evans & O. Rackham). Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh. p. 121
- KESSLER, J. 1964. Nitrate assimilation of plants. **Ann. Rev. Plant Physiol.** 15:72
- KESSLER, J.J. 1992. The influence of karité (*Villetaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) trees on sorghum production in Burkina Faso. **Agroforestry Systems**. 17:97
- KLUSMANN, C. 1988. Trees and shrubs for animal production in tropical and subtropical areas. **Plant Research and Development**. 27:92
- LIBREROS, H.F.; BENAVIDES, J.E.; KASS, D. & PEZO, D. 1994a. Productividad de una plantación asociada de Poró (*Erythrina poeppigiana*) y king grass (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*). I. Efecto de la adición de follaje al suelo sobre la producción y calidad de la biomasa. En: Arboles y arbustos forrajeros en América Central. (Ed. J.E. Benavides). CATIE. Turrialba, Costa Rica. Vol. II, p. 453

- LIBREROS, H.F.; BENAVIDES, J.E.; KASS, D. & PEZO, D. 1994b. Productividad de una plantación asociada de Poró (*Erythrina poeppigiana*) y king grass (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*). II. Movilización de minerales. En: Árboles y arbustos forrajeros en América Central. (Ed. J.E. Benavides). CATIE. Turrialba, Costa Rica. Vol. II, p. 475
- MILERA, MILAGROS. 1994. Empleo del banco de proteína de *Leucaena leucocephala* cv. Perú para la producción de leche. Resúmenes. Taller Internacional "Sistemas Silvopastoriles en la Producción Ganadera". EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 60
- MOOLANI, M.K. 1962. Growth response of soybean under various light regimes. **Current Sci.** 31:164
- MURRAY, D.B. & NICHOLS, R. 1968. Light, shade and growth in some tropical plants. In: Light as an ecological factor. (Eds. R. Bainbridge, G.C. Evans & O. Rackham). Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh. p. 249
- ODUM, E.P. 1972. Ecología. 3ra ed. Interamericana, México. 639 p.
- PENKA, N. 1967. Types of the daily course of transpiration rate in seedlings of forest trees. **Biologia Plantarum.** 9:407
- PEREZ-CARMENATE, R.; BORROTO, ANGELA; MAZORRA, C.; CARRERA, J.; OSUNA, A.; ARENCIBIA, AGUEDA; RODRIGUEZ, ZAIDA & GARCIA, J. 1995. Establecimiento de leguminosas tropicales como cultivo de cobertura en un cocal en producción. Resúmenes. Primer Taller Internacional sobre Colecta y Evaluación de Recursos Fitogenéticos Nativos. Sancti Spiritus, Cuba. p. 26
- PEZO, D. 1981. La calidad nutritiva de los forrajes. En: Producción y utilización de los forrajes en el trópico. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. 70
- RODRIGUEZ, R.A. 1985. Producción de biomasa de Poró gigante (*Erythrina poeppigiana* (Walpens) O.F. Cook) y king grass (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*) intercalados en función de la densidad de siembra y la frecuencia de poda del Poró. Tesis Mag. Sc. CATIE/UCR. Turrialba, Costa Rica. 96 p.
- RUIZ, T.E.; FEBLES, G.; DIAZ, H.; HERNANDEZ, L. & DIAZ, L.E. 1994. *Leucaena leucocephala* como árbol de sombra en la ganadería. Resúmenes. Taller Internacional "Sistemas Silvopastoriles en la Producción Ganadera". EEPF "Indio Hatuey" Matanzas, Cuba. p. 49
- SOMARRIBA, E. 1988. Pasture growth and floristic composition under the shade of guava (*Psidium guajava* L.) trees in Costa Rica. **Agroforestry Systems.** 6:153
- SHISHCHENKO, S.V. & CAPOTE, S. 1976. Efecto de diferentes factores ambientales sobre procesos fisiológicos de gramíneas y leguminosas. II. Frijol y maíz en cultivos puros y en asociación. **Ciencias Biológicas.** 1:57
- SCHREINER, H.G. 1987. Tolerancia de cuatro gramíneas forrageiras a diferentes graus de sombreamento. **Boletim de Pesquisa Florestal.** 15:61
- SCHÖBERLEIN, W. & LAMPETER, W. 1977. The effects of global radiation before harvesting upon the digestibility of the dry matter of some grass species. In: Climate factor and yield formation. In: Proc. XIII Int. Grassld. Cong., Leipzig. p. 245
- SPENCER, D. 1958. The reduction and accumulation of nitrate. In: Handbuch der Pflanzenphysiologie. (Ed. W. Ruhland). Springer, Berlín. p. 201
- TANG, M. 1986. Factores que afectan la simbiosis leguminosa-rhizobium. **Pastos y Forrajes.** 9:193
- THOMAS, H. & NORRIS, I.B. 1981. The influence of light and temperature during winter on growth and death in simulated swards of *Lolium perenne*. **Grass and Forage Science.** 36:107
- WILSON, J.R. ; CAMERON, D.M. ; SHELTON, H.M. & HILL, K. 1990. Grass growth within a *Eucalyptus grandis* plantation. **CSIRO. Division of Tropical Crops and Pastures. Biennial Research Report 1988-1990.** p. 79
- WILSON, J.R.; CATCHPOOLE, V.R. & WEIER, K.L. 1986. Shade stimulation of the growth and nitrogen uptake of a run down green panic pasture on Brigalow clay soil. **CSIRO.**

***Division of Tropical Crops and Pastures.
Annual Report 1985-1986.*** p. 55

- WILSON, J.R.; HILL, K.; CAMERON, D.M. & SHELTON, H.M. 1990. The growth of *Paspalum notatum* under the shade of a *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. ***Trop. Grassl.*** 24:24
- WONG, C.C. 1990. Mineral composition and nutritive value of tropical forage legume as

affected by shade. ***Mardi Research Bulletin.*** 18:135

- WONG, C.C. & WILSON, J.R. 1980. Effects of shading on the growth and nitrogen content of green panic and siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. ***Aust. J. Agric. Res.*** 31:269

Recibido el 24 de enero de 1996