

UNIVERSIDAD DE MATANZAS
“Camilo Cienfuegos”
EEPF “Indio Hatuey”

***EFECTO DE LA SOMBRA DE LOS ARBOLES
SOBRE EL PASTIZAL EN UN SISTEMA
SEMINATURAL***

Autor: *Gertrudis Pentón Fernández*

Tutor: *Dr. Félix Blanco Godínez*

**Tesis presentada en opción al Título Académico de
Master en Pastos y Forrajes**

2000

"Los bosques son indispensables para el desarrollo y el mantenimiento de todas las formas de vida. Por ello, hay que conocer cada vez más el entorno y las características de las acciones que sobre él se van a emprender, y cada vez, hay que buscar la manera de lograr un equilibrio en la relación entre el medio natural y la actividad humana".

DEDICATORIA

A mis padres, porque han sido fieles ejemplos de formadores de hombres nuevos, llenos de virtud y amor.

A mis hermanos, por todo el apoyo que me han brindado en mi formación general.

A mi esposo, por la ternura y la comprensión que siempre acompañan sus palabras.

A mi hijo, por ser mi razón de existir, y de luchar por la perfección humana y la preservación del mundo en que vivimos.

A mi Patria, a mi Revolución y a mi Institución, por brindarme la oportunidad de desarrollarme como profesional.

A mis compañeros y amigos por confiar en mí.

AGRADECIMIENTOS

- Al Dr. Félix Blanco Godínez, por su dedicación en mi formación como futura científica y por la sabia orientación brindada durante la realización de esta tesis.
- Al Ing. Miguel Martínez García, porque sin su no hubiera sido posible la realización de la maestría.
- A la Dra. Esperanza Seguí Cartaza, por el apoyo incondicional brindado en todo momento.
- Al Dr. Marcos Esperance Matamoros, por la ayuda recibida durante mi preparación para la defensa.
- A la M.Sc. Milagros Milera Rodríguez, por sus sabios consejos.
- A las compañeras Alicia Ojeda y Nancy Pérez, por el apoyo recibido en la realización de la tesis.
- Al Claustro de profesores de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey".
- Al Comité Académico de la maestría por ayudar en mi formación científico-técnica.
- A todos mis colegas, especialmente a Francisco Alonso, Saray Sánchez, Luis Hernández, Marlenis Prieto, Julia Cáceres, Hilda Wencomo, Guadalupe Pérez, Mercedes de Armas, por su colaboración y la confianza depositada en mí.
- A todos los que de una forma u otra colaboraron en la realización de este trabajo.

Mi sincera gratitud.

INDICE

INTRODUCCION-----	1
I.1 La reducción de la luz en los sistemas arbolados -----	3
I.2 La composición botánica de los pastizales y la influencia de la sombra de los árboles -----	4
I.3 Influencia de la sombra de los árboles en la composición química de los pastos -----	8
I.4 Relaciones entre la composición botánica y la composición química -----	11
CAPITULO II. METODOLOGIA EXPERIMENTAL-----	13
CAPITULO III. RESULTADOS -----	16
CAPITULO IV. DISCUSION DE LOS RESULTADOS -----	20
CONCLUSIONES-----	25
RECOMENDACIONES-----	26
BIBLIOGRAFIA -----	27
ANEXOS -----	33

Índice de anexos

Tabla 1. Condiciones agrometeorológicas características del año 1997. -----	33
Tabla 2. Caracterización del suelo en el ecosistema estudiado -----	33
Tabla 3. Valores promedios de área cubierta por componente botánico. -----	34
Tabla 4. Variación de la composición botánica por efecto de la sombra. -----	35
Tabla 5. Variación de la composición química por efecto de la sombra. -----	36
Tabla 6. Matriz de correlaciones -----	37
Fig. 1. Proyección de sombra por <i>Albizia lebbbeck</i> bajo diferentes densidades de siembra. -----	34
Fig. 2. Tasa de variación anual de la composición botánica en el sistema. -----	35
Fig. 3. Variación estacional del nivel de proyección de sombra por árboles. -----	36
SERIE I. Variable dependiente: % de <i>P. maximum</i> -----	38
SERIE II. Variable dependiente: % de <i>B. decumbens</i> -----	38
SERIE III. Variable dependiente: % de <i>Dichanthium annulatum- caricosum</i> -----	38
SERIE IV. Variable dependiente: % de <i>P. notatum</i> -----	39
SERIE V. Variable dependiente: % de Otras gramíneas naturales -----	39
SERIE VI. Variable dependiente: % de plantas de hoja ancha -----	39
SERIE VII. Variable dependiente: % de leguminosas rastreras -----	39
SERIE VIII. Variable dependiente: % de fibra bruta -----	40
SERIE. IX. Variable dependiente: % de materia seca -----	40
SERIE X. Variable dependiente: % PB -----	41
SERIE XI. Variable dependiente: % de cenizas -----	42

INTRODUCCION

La declaración de Río fue el resultado de la conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMA), celebrada en Río de Janeiro en 1992, donde se declararon 27 principios generales para conducir a estados y pueblos hacia una alianza mundial nueva y equitativa en la esfera del medio ambiente. Algunos de esos principios estuvieron dirigidos hacia el desarrollo sostenible de los bosques y de ellos se hizo hincapié en el uso múltiple de los árboles y la necesidad de un punto de vista holístico y equilibrado para su desarrollo.

A partir de ese momento, han sido innumerables los encuentros realizados en todo el mundo para debatir los temas concernientes al efecto de los árboles en el medio: sus funciones, su importancia y su promoción.

Partiendo del hecho de que todo país debe disponer de una cubierta forestal mínima para el mantenimiento de los activos medioambientales, en Cuba, con el desarrollo de los sistemas agroforestales para la producción animal, se impone la necesidad de obtener información sobre el impacto de la reforestación en el medio ambiente, y más específicamente en las áreas dedicadas a la ganadería con silvopastoreo.

La sombra producida por el dosel sobre el estrato herbáceo constituye uno de los efectos de la presencia de los árboles en los sistemas silvopastoriles. Esta puede actuar de forma directa en determinados procesos fisiológicos de las plantas y de forma indirecta a través de los restantes factores bióticos y abióticos presentes en el sistema.

Sobre el papel de la sombra en la modificación de la composición botánica y química de los pastizales se han realizado diversos estudios, donde se exponen los resultados a partir de la experimentación con diferentes niveles de luz visible, en condiciones naturales y artificiales y con diversas especies de árboles y pastos, entre los que se destacan la *Leucaena leucocephala* y *Eucaliptus* como plantas superiores y *Panicum maximun*, *Paspalum notatum* y algunas especies del género *Brachiaria* entre las gramíneas pratenses.

De forma general en la literatura consultada se puede apreciar una gran heterogeneidad de la información, lo que ha estado determinado por la diversidad de condiciones en las cuales se han realizado las investigaciones, así como las diferencias en cuanto a metodologías experimentales.

En Cuba, a partir de la introducción de los sistemas silvopastoriles, la ganadería se ha ido enriqueciendo con un amplio germoplasma arbóreo tropical, en el cual se destacan por su valor económico y sus potencialidades para las áreas ganaderas: *L. leucocephala* y *Albizia lebbbeck*. Acerca de la primera se han realizado innumerables investigaciones en torno a su producción, utilización e impacto. Sin embargo, sobre *A. lebbbeck* a pesar, de que ya se han iniciado algunos estudios, aún es insuficiente la información con que se cuenta, fundamentalmente en lo referido al efecto ambiental de su introducción en los pastizales.

La proyección de sombra por los árboles de *A. lebbbeck* constituye un caso particular dentro de los estudios sobre los efectos de la reducción de la luz en los pastizales pues como es conocido, además de ser una leguminosa arbórea con gran desarrollo de su copa, es una planta caducifolia, que pierde todas o casi todas sus hojas en la estación seca de nuestro país (noviembre-enero) y crea una dinámica del régimen luminoso durante el año muy interesante para el manejo del pastizal y del sistema en general. Además, los estudios sobre la sombra en sistemas silvopastoriles en Cuba han estado limitados por lo general a las plantaciones de árboles (cultivados por el hombre).

Tomando en consideración estos antecedentes, la presente investigación se apoyó en las siguientes hipótesis: Los factores que modifican el régimen de luz en los sistemas silvopastoriles pueden ser mucho más complejos en presencia de una planta caducifolia como *A. lebbbeck* extendida de forma natural; la presencia de esta especie en el sistema silvopastoril puede condicionar una marcada variación estacional de la sombra; la composición botánica de un pasto natural puede expresar

relaciones más complejas que en la condiciones de un pasto monoespecífico; las gramíneas naturales no deben desarrollarse adecuadamente bajo la sombra de los árboles, en estas condiciones los contenidos de proteína bruta y cenizas pueden ser diferentes a los reportados por otros autores, al encontrarnos ante un sistema con componentes arbóreos y herbáceos diferentes; es probable encontrar una respuesta diferenciada en el comportamiento de los pastos naturales con respecto a la sombra, lo que pudiera ser causa de cambios en la composición botánica.

A partir de estas hipótesis se trazaron los objetivos siguientes:

- ◆ Conocer el nivel de sombra proyectado por el estrato arbóreo, la variación estacional y la influencia de la densidad de árboles en su modificación.
- ◆ Conocer la composición botánica del estrato herbáceo y sus cambios dentro del sistema silvopastoril seminatural.
- ◆ Conocer las modificaciones en la composición química del pastizal como resultado de la presencia de los árboles.
- ◆ Determinar el grado de interrelación de los indicadores estudiados y su dependencia con el nivel de sombra establecido.

CAPITULO I. REVISION BIBLIOGRAFICA

I.1 La reducción de la luz en los sistemas arbolados

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 mμ.

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

- Luz directa que penetra por los espacios del dosel, como resultado de la estructura de las copas de los árboles y del espaciamiento entre ellos.
- Luz difusa que penetra por vías similares a la luz directa.
- Luz reflejada por el follaje y otros componentes estructurales del estrato arbóreo (Blanco, F., inédito).

En los ecosistemas ganaderos con árboles la disminución de la luz tiene una marcada incidencia en la fitocenosis y sus efectos están ligados a varios factores geográficos como la latitud, la altitud y la inclinación, que a su vez es una función de la hora del día y en cierto grado de la época del año.

La disminución de la luz varía, además, con la morfología de las plantas arbóreas (p.e. características de copa y altura), la edad (Reynold, 1995), la densidad (Knowels, 1991) y la arquitectura y fenología de la especie (Shelton, 1993; Giraldo, 1995).

La transmisión de la radiación solar bajo la cubierta arbórea densa es superior cuando el sol está cerca del zenit, pues en esta posición se proyecta la más alta proporción de luz que llega al fondo de la poblaciones de árboles (Clifford, 1965) debido a que los rayos luminosos inciden perpendicularmente sobre la superficie del suelo y la interferencia por la copa de los árboles o la sombra de los estratos inferiores se hace mínima.

En cuanto a la variación estacional en el fondo de los rodales de árboles no caducifolios, se conoce que la luz es mayor hacia los meses de mayor intensidad de radiación solar, pero cuando esta disminuye, la luz se reduce en una proporción menor dentro del rodal. Sin embargo, en los rodales caducifolios pudiera resultar que la intensidad luminosa dentro de ellos sea mayor precisamente en el período climático en que esta se reduce de manera natural provocado por la caída de las hojas.

Otra característica que tiene el régimen luminoso bajo un árbol o plantación arbórea es la penetración de haces luminosos por las ventanas o huecos, que de manera más diversa se forman en el dosel de la cobertura arbórea (Blanco, 1998) y originan que diferentes niveles de luz se proyecten sobre el suelo en forma de manchas lumínicas de diversos tamaños y formas. Dichas manchas se mueven con el movimiento aparente del sol y tienen una oscilación como resultado del movimiento producido por el viento en las hojas y ramas de los árboles.

Este fenómeno está estrechamente relacionado con la arquitectura foliar de las especies. De ahí que Daccarett y Blydenstein (1968), al medir la cantidad de luz interceptada por cuatro especies de árboles de diferente arquitectura en sus hojas y ramas, plantadas todas en una densidad de 60 árboles/ha, encontraron una reducción de la luz incidente en el estrato herbáceo, que varió de 6 a 56% de sombra.

En las plantaciones de árboles perennes la sombra tiende a aumentar con la edad. Sobre este aspecto Chen (1993) afirmó que en la mayoría de las plantaciones, con las densidades normalmente utilizadas las copas tienden a cerrar de tal manera que al cabo de los 5 a 8 años la transmisión de luz puede caer hasta por debajo de un 30%. Sin embargo, también existen diferencias en el patrón de respuesta a la edad que son atribuibles a la morfología de las leñosas. En este sentido Wilson y Ludlow (1991)

encontraron que el sombreado se incrementaba aceleradamente en los primeros años de la plantación, pero luego tendía a reducirse en algunas especies de árboles, y que este efecto era más marcado en hule (*Hevea brasiliensis*) y palma aceitera (*Elaeis guineensis*) que en cocotero (*Cocos nucifera*) y *Eucalyptus deglupta*.

Un comportamiento similar fue observado en plantaciones de *Pinus caribaea* (Somarriba y Lega, 1991), y pudiera estar determinado por el hecho de que cuando los árboles sembrados con densidades medias llegan a alcanzar con el paso de los años alturas superiores a varios metros sobre el nivel del suelo, propician una mayor entrada de la luz lateral en la mañana por el lado este y en la tarde por el oeste; ello explica los resultados de Solórzano y Arends (1998) con *Samanea saman* (Jacq.) Merrill, en la cual la intensidad de luz fue mayor en el tratamiento con árboles cuya altura de copa superó los 7 metros ($0,696 \text{ w/m}^2$), en comparación con los árboles con alturas de copa menores ($0,67 \text{ w/m}^2$).

De igual manera, Chen (1993) describió que la transmisión de la luz hasta un 40-50% al cabo de los 8 años en *Cocos nucifera*. Sin embargo, a partir de esa edad tendió a incrementarse, pues los cocoteros aumentaron su altura y disminuyeron la densidad de sus frondas.

De todo ello se puede inferir que en muchas especies de árboles, cuando la planta se encuentra en las primeras fases de desarrollo se producen niveles de sombra muy discretos, que se incrementan de forma vertiginosa cuando culmina la fase juvenil y aún con poca altura desarrolla un coposo dosel que impide la entrada de la luz tanto en forma perpendicular como lateralmente. A partir del momento en que la planta experimenta un crecimiento acelerado en altura, crea condiciones para que disminuya el nivel de sombra proyectada a partir de una mayor penetración de la luz por los espacios que quedan descubiertos entre los árboles.

Con respecto a la intensidad luminosa relacionada con la distancia entre árboles, diferentes mediciones establecen que en el centro de un claro del bosque solo se alcanzan 100% de variación de este se presenta en un radio equivalente a cuatro veces la altura de los árboles que lo rodean.

Para que la radiación solar sea de 100% en un punto, este debe estar a una distancia de por lo menos 120 metros del árbol más próximo, si este mide 15 metros de altura (Giraldo y Veléz, 1993). En ello juega un papel determinante el diámetro de la copa de los árboles, puesto que esta característica condiciona el área de sombra proyectada sobre la pastura (Marinero, 1964).

En este sentido línea Solórzano y Arends (1998) observaron que la intensidad de luz en una plantación de *Samanea saman* (Jacq) disminuyó significativamente desde $1,12 \text{ w/m}^2$ con una distancia entre árboles de 44 - 93 metros, hasta $0,24 \text{ w/m}^2$ con 3,25 - 4,80 metros entre árboles.

Varios autores han cuantificado la reducción de la luz por concepto del número de árboles presentes. Así, Cameron, Rance, Jones y Charles (1994) encontraron en un sistema compuesto por *Eucalyptus grandis* en su estrato superior, que después de cuatro años de plantados con una densidad de 594 árboles/ha produjo una cobertura del dosel de 30% o más, lo cual provocó la disminución del patrón de producción de pasto. Al mismo tiempo, una densidad de 300 árboles/ha (considerada por los autores como óptima para la producción de pastos) propició una cobertura de sombra de 20%.

Por otro lado, Acciaresi, Arsín y Marlats (1994) observaron en una plantación de álamo (*Populus deltoides* Marsh), que con densidades de 312 y 250 árboles/ha los registros lumínicos ascendieron al 72 y 88% respectivamente; mientras que con densidades de 625 y 416 árboles/ha se alcanzaron valores significativamente menores de 34 y 51% de luz, respectivamente.

1.2 La composición botánica de los pastizales y la influencia de la sombra de los árboles

Es conveniente tener en consideración algunos conceptos, principios y resultados relacionados con los cambios de la composición botánica en los pastizales tradicionales (no arborizados), antes de explicar el caso particular de los sistemas silvopastoriles, en tanto puede ayudarnos a su comprensión.

La composición botánica es el reflejo y resultado de la expresión estructural de las especies y su cuantía en un proceso dinámico de cambio sucesional hacia la creación de un estatus de equilibrio relativo de la cubierta vegetal, cuyas implicaciones pueden ser decisivas en el éxito o fracaso del ecosistema pastizal (Machado, 2000).

Los problemas relativos a sus cambios dentro de los pastizales están determinados en gran medida por factores bióticos como las características de la comunidad herbácea; es decir, si el pastizal es natural o artificial, si es un monocultivo o si prevalecen diversas especies, etc (Machado, 2000); la reserva de semillas en el suelo (Reyes, F., comunicación personal); las especies; su velocidad de crecimiento y sus mecanismos de diseminación; el potencial alelopático (Weston, 1996); el papel del sustrato y la acción de los herbívoros superiores asociados con su manejo; las plagas y enfermedades y la interacción de otros entes antagónicos y/o sinérgicos. También están involucrados algunos factores abióticos como la estructura física y composición química del suelo; el reciclaje de los nutrientes; las condiciones establecidas por los factores climáticos (Hawton, 1980); así como características microclimáticas de la comunidad (Puerto, 1997).

Entre los fenómenos de carácter biótico a destacar por su gran significación está la interacción competitiva que se establece entre las plantas, que es sinónimo de la interferencia y se hace más importante en la medida que aumenta la proximidad entre los individuos; y en esas condiciones se establecen un conjunto de mecanismos, como son la competencia por los recursos, las modificaciones microclimáticas, las diferencias fenológicas en la adquisición de los recursos y el propio crecimiento de las plantas. En tal sentido el establecimiento o no de las competencias se hace más marcado cuando el complejo de la vegetación consiste en un número de especies diferentes, tanto en la tasa de desarrollo del follaje, como en la probabilidad de la severidad de su efecto sobre el cultivo aledaño (Burton, 1993). Es por ello que en las áreas dominadas por diferentes competidores, en virtud de las diferencias en naturaleza, la tasa de crecimiento y otros aspectos específicos de las especies en cuanto a recursos, uso y reciclaje de nutrientes, se considere que induzcan en régimen específico de su follaje relacionado con la luz, la humedad del suelo, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes; esto explica las marcadas diferencias de una especie a otra, que en cuanto a la persistencia fueron observadas por Menéndez, Cordoví y Martínez (1980).

Estos autores, al estudiar la persistencia de 30 cultivares de los géneros *Digitaria*, *Cynodon*, *Panicum*, *Pennisetum*, *Cenchrus*, *Bothriochloa*, *Chloris*, *Dichanthium*, *Hemarthria*, *Uniola* y *Sorghum* sobre un suelo montmorillonítico de drenaje externo deficiente, obtuvieron que las bermudas (*Cynodon dactylon*) resultaron las más destacadas al mantener un área cubierta del 97-98%, igualando a las especies de los géneros *Dichanthium* y *Bothriochloa*, consideradas como pastos naturales (Pérez-Infante, 1979) o como plantas indeseables en los pastos cultivados (Sistachs, 1979); por debajo de ellas, quedaron en orden de mérito los cultivares de pasto estrella, buffel y guinea, con diferencias importantes entre ellos. Según Blanco (1986), la mayor competitividad de las plantas indeseables pudo estar determinada por la falta de adaptación de los pastos mejorados a las condiciones edafoclimáticas y la agresividad de las plantas indeseables.

Con respecto a los factores de carácter abiótico, en las décadas del 70 y el 80 se prestó particular atención a las causas de los cambios de la composición botánica de los pastizales en función de las condiciones naturales de clima y suelo, las medidas agrotécnicas y de manejo animal, así como el papel de la adaptación de las especies a las condiciones edafoclimáticas.

En relación con la fertilidad de los suelos una conclusión generalizada y de mucha importancia fue la de Hopkins y Green (1979), quienes señalaron que la elevación de la fertilidad favorece las especies más competitivas y productivas del pastizal, destacándose la correlación negativa que manifiestan las leguminosas y las plantas indeseables con la fertilización nitrogenada (Blanco, 1986), aunque con orígenes bien distintos para cada caso. El autor encontró que la menor aparición de las leguminosas coincidió con la mayor dosis de nitrógeno y explicó que la posible causa de esta respuesta

fue el efecto negativo que tiene este elemento químico en el suelo sobre la nodulación y la simbiosis de las leguminosas tropicales, reduciendo las posibilidades competitivas de las mismas.

El autor estimó además que el nivel de interferencia de las plantas indeseables fue menor con el incremento de la dosis de nitrógeno; el valor más bajo fue para la dosis de 400kg/ha/año (29,5%), el que no difirió significativamente del nivel de 200 kg/ha/año de nitrógeno. Este resultado ha sido confirmado para pastos tropicales y templados, planteándose que la fertilización nitrogenada evita la interferencia de las plantas indeseables o las reduce al poner el pasto cultivado con ventaja, y ello responde al hecho de que las especies mejoradas son generalmente más exigentes en cuanto a demanda de nutrimentos, pero también responden más eficientemente a la fertilización (Andrew y Johansen, 1978).

En cuanto al nivel de humedad del suelo, se conoce que esta variable microclimática está muy relacionada con la perdurabilidad del pasto, de manera que la sequía, unida a la defoliación puede traer consigo el retroceso de las especies susceptibles al estrés hídrico en el pastizal y puede dar al traste con la pérdida de su valor como fuente de alimento animal. Las leguminosas rastreras, por lo general, disminuyen su población dentro del pastizal por el efecto estresante de la escasez de agua en el suelo.

Una situación particular con respecto al efecto de los factores ambientales sobre el pastizal aparece con la implementación de los sistemas silvopastoriles. En el trópico, estos sistemas pueden encontrarse de manera natural y se distinguen por la presencia de árboles, arbustos y plantas herbáceas que se distribuyen por zonas de acuerdo con sus características diferenciales con respecto a las exigencias de los elementos del entorno (Atta Krah, 1993). Pero todos tienen un aspecto en común que consiste en la alteración del régimen luminoso.

Dicha alteración del régimen de luz tiene una marcada incidencia en el desarrollo de los sistemas silvopastoriles, pues se conoce que entre los efectos que esta tecnología imprime en los ecosistemas ganaderos, los que más llaman la atención son los ligados al suelo y al hecho de que bajo el estrato arbóreo crece un pasto diferente en su composición botánica (Puerto, 1997).

El sombreado tiende a tener un efecto más marcado sobre la tasa de crecimiento de las plantas forrajeras con ciclo fotosintético tipo C₄ – gramíneas tropicales que las de tipo C₃ – gramíneas de zonas templadas y leguminosas (Tieszen, 1983; Sanderson, Stair y Hussey, 1997), aspecto que debe considerarse al estudiar el comportamiento y las relaciones que se establecen estas plantas cuando están asociadas.

En este sentido, Renolfi (1989) reportó que en la región chaqueana de América del Sur bajo la sombra de los árboles, pueden encontrarse gramíneas palatables como el *Trichloris crinita*, *Digitaria californica*, *Setaria leiranthia*, *Chloris ciliata* y *Pennisetum frutescens*, asociadas a plantas indeseables como *Setaria globulifera*, *Aristida mendocina*, *Chloris virgata* y el *Eragrostis cilianensis*. También han sido encontradas algunas leguminosas de los géneros *Rhynchosia*, *Desmanthus*, *Zornia* y *Mimosa* (*Sida rhombifolia* y *Eupatorium* sp).

Por otra parte varios autores, entre ellos Daccarett y Blydenstein (1968), Wong (1991) y Zelada e Ibrahim (1997), han reportado que dentro del grupo de las gramíneas forrajeras altamente tolerantes a la sombra se incluyen *P. maximun*, *B. miliiformis*, el conjugatum, el *Stenotaphrum secundatum* e *Ischaemum*; mientras que entre las leguminosas están *Desmodium heterophyllum*, *Desmodium ovalifolium* y *Calopogonium caeruleum*. Como moderadamente tolerantes identificaron a *B. decumbens*, *D. Decumbens*, *H. altissima*, *B. humidicola*, *B. brizantha*, *Setaria sphacetata*, *Cynodon nlemfuensis*, *P. purpureum* e *Imperata cylindrica* entre las gramíneas: *Arachis pintoi*, *Centrosema pubescens*, *Desmodium intortum*, *D. Triflorum*, *Calopogonium mucunoides* y *Pueraria phaseoloides* en las leguminosas herbáceas. Como poco tolerantes se mencionan *Andropogon gayanus* CIAT- 621 y una variedad de *P. maximun* CIAT- 6299.

Estos autores introducen un importante elemento para explicarse los cambios de la composición botánica a la sombra, el problema de la tolerancia, en lo cual se destaca el comportamiento de *P. maximum*. Esta especie se desarrolla en forma de altos penachos o grandes matas de densa cobertura

donde la arquitectura de la porción aérea permite la interceptación de la luz con gran eficiencia (Grubb, 1987) y a la vez tienden a disminuir o suprimir el crecimiento de sus vecinas de menor porte (Acosta, Díaz, Menghi y Cabido, 1992).

Costa, Townsend, Magalhaes y Pereira (1999), al evaluar el desempeño agronómico de siete gramíneas forrajeras sembradas bajo una plantación arbórea con una distancia de siembra entre árboles de 4 m x 0,5 m, obtuvieron a las 12 semanas de realizada la siembra que los mayores por cientos de área cubierta (90 – 100%) correspondieron a *B. brizantha* y *B. humidicola*; mientras que *Paspalum regnelli* BRA- 0159 presentó el más lento establecimiento con apenas un 35 % de cobertura.

Otros resultados interesantes fueron reportados por Calzadilla, Torres, Leyva, Sánchez y Gonzáles (1994), quienes informaron que en un sitio de las estribaciones de la Sierra Maestra, bajo una plantación de 4 años de edad constituida por: *Swietenia macrophylla* King, *Khaya nyasica* y *Khaya senegalensis* (Ders.) A. Juss., se sustentaba abundante pasto guinea como alimento básico de un rebaño de ganado ovino y su población superaba el 80 % de la cobertura herbácea, destacando nuevamente la presencia del *P. maximum* como una especie altamente adaptada a las condiciones de sombra. Además, Belsky (1994) destacó que en las zonas arboladas del parque nacional de Kenya, las especies que más se pueden observar son el *C. nlemfuensis* y *P. maximum*; precisamente los dos pastos de mayor importancia en la ganadería cubana. Estas especies, conjuntamente con *Botriochloa pertusa*, mostraron un buen comportamiento en asociación con árboles bajo niveles de sombra moderada (Botero y Botero, 1995). *Botriochloa pertusa* constituye una opción para los sistemas pastoriles en la zona central de Colombia (Chamorro, D., comunicación personal).

Por otro lado, Rodríguez y Díaz (1995) obtuvieron en sus estudios con árboles de Nim (*Azadirachta indica* A. Juss) sembrados en potreros, que la especie *Clitoria ternatea* alcanzó valores de cubrimiento significativamente menores a la sombra que al sol; *C. nlemfuensis* y *Teramnus* no manifestaron diferencias marcadas; mientras que en la asociación de *Teramnus* y otras leguminosas nativas estas variaciones sí fueron significativas a favor de la sombra.

Este fenómeno corrobora la observación realizada por Wilson (1978) sobre la posibilidad de competencia de algunas leguminosas herbáceas bajo la sombra de los árboles, que depende en gran medida de su capacidad para lograr el acceso a la luz, lo cual puede observarse en sistemas pastoriles multipropósitos con leguminosas herbáceas y árboles donde la *Glycine* (*Neonotonia wigthii*) ha persistido a partir de su volubilidad y capacidad de lograr el acceso a la luz trepando sobre las copas de los árboles. Es probable que por tales motivos estas plantas al ser del tipo C3, puedan trabajar bien con intensidades de luz bajas de 20-25% del total. Por ello, en ocasiones se pueden observar leguminosas rastreras bajo la copa de los árboles. Sin embargo, en determinadas condiciones donde las gramíneas mejoradas logran adaptarse al régimen de sombra existente bajo el dosel de los árboles, las leguminosas retroceden aceleradamente, debido en algunos casos a que sus hábitos de crecimiento no les permiten ganar acceso a la luz a través de las ramas de estos.

Con respecto a las plantas indeseables en potreros, donde los árboles irregularmente distribuidos desarrollan copas densas y con alta interceptación de la luz, suele observarse la presencia de especies de hojas anchas adaptadas a la sombra y, en general, se aprecia un bajo índice de área cubierta en el estrato herbáceo, que se acentúa por la acción del animal al irse a proteger de los rayos solares (Bronstein, 1983).

Esta situación cambia cuando se trata de un sistema silvopastoril con suficiente presencia de árboles y pastos mejorados altamente competitivos, donde las malas hierbas no tienen la posibilidad de crecer lo suficiente y se expanden muy poco, convirtiéndose este sistema en una forma muy eficiente de controlar las gramíneas de bajo valor como alimento animal (Alvarez, 1994).

Acciaresi, Arsín & Marlats (1994) observaron que en una pastura compuesta por especies naturales (*Bromus unioloides* H. B. K., *Lolium multiflorum* Lam., *Paspalum dilatatum* Poir. y *C. dactylon* L.) la cobertura herbácea del suelo fue de 87% en las parcelas a cielo abierto, mientras que en el tratamiento bajo sombra (desde 250 a 625 árboles/ha) el pasto cubrió solo el 64%. Es probable que en este caso la

sombra haya sido lo suficiente para reducir el pasto y aumentar los espacios vacíos; sin embargo, con sombra moderada se creen las condiciones adecuadas para que el pasto no retroceda y pueda llegar a ser altamente competitivo ante la posibilidad de invasión por otras especies. En tal sentido, Ruiz, Febles, Díaz, Hernández, y Díaz (1994), al estudiar el efecto de la sombra producida por *L. leucocephala* cv Perú sobre el pastizal compuesto por pasto estrella (*C. nlemfuensis*), no detectaron presencia de malezas en las áreas bajo sombra; mientras que a pleno sol este indicador alcanzó 26,4 % de la cobertura herbácea.

I.3 Influencia de la sombra de los árboles en la composición química de los pastos

Se conoce que la composición química de un pastizal a pleno sol, formado por gramíneas cultivadas con un estado de madurez entre 6 y 8 semanas, suele estar alrededor del 7,17% de proteína bruta (PB); 34,17% de fibra bruta (FB); 1,9% de extracto etéreo (EE); 7,9% de cenizas (Ce); 0,28% de fósforo (P); 2,1% de potasio (K); 0,19% de calcio (Ca); 0,29% de magnesio (Mg); 0,18% de sodio (Na); 0,86% de cloruro (Cl) y 0,30% de azufre (S) (Appelman y Dirven, 1962).

Sin embargo, el grado de iluminación que recibe el pastizal provoca cambios en el contenido químico de su biomasa (Daccarett y Blydenstein, 1968; Odum, 1972; Pezo, 1981; Bronstein, 1984; 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 composición botánica, la presencia de la macro y microfauna edáfica y la competencia o la interferencia de árboles, arbustos y otras plantas vecinas.

Herrera (1983) revisó detenidamente la influencia de diversos factores ambientales y de manejo en la composición química y la calidad de los pastos tropicales. A continuación se discutirá el caso particular de la sombra, específicamente la producida por la presencia de los árboles en el pastizal.

✓ Composición mineral

Parecen existir divergencias de criterio en cuanto a la tendencia de los cambios en la composición mineral en los pastos bajo sombra, hecho que pudiera estar muy influenciado por las diferencias en las condiciones en las que se han realizado las investigaciones.

De manera general, los resultados encontrados hasta este momento sugieren que con respecto al contenido de fósforo, a pesar de que este elemento varía significativamente por efecto de la época y el nivel de fertilidad en el suelo (como ha sido referido anteriormente), ante la reducción de la intensidad de la luz se muestra muy poco variable.

Este fenómeno ha sido referido por varios autores como Chen y Bong (1983), quienes al informar sobre el efecto negativo de la sombra proyectada por una cubierta cerrada de palma sobre plantas pratenses, observaron que todos los minerales de las plantas disminuyeron en el tiempo, excepto el fósforo (P). Además, Guevara, Ruiz, 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 P no fue significativa y Wilson, Cameron, Shelton y Hill (1990), al comparar el contenido mineral de *P. notatum* al sol y a la sombra, notaron que no difirió entre tratamientos.

No obstante a todo lo anterior, existen algunos reportes de incrementos de este indicador bajo plantaciones arboladas y en ese sentido 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. Wong (1990), al estudiar la respuesta de cuatro leguminosas a diferentes intensidades de sombra notaron un notable incremento del P, el Mg y el K, sin presentar posibles explicaciones del fenómeno.

En cuanto al contenido de calcio en el pasto bajo la sombra, aunque existen algunos resultados aislados no coincidentes, se ha llegado a un consenso general acerca de que bajo la sombra de los árboles este elemento aumenta significativamente en el pasto. En tal sentido, Solórzano y Arends (1998) observaron que el contenido de Ca en *C. nlemfuensis* fue mayor debajo de la copa de los árboles (0,29%) con relación al pasto bajo la sombra parcial (0,23%). Dicho resultado coincide con los de Belsky (1992; 1994), quien encontró que el Ca aumentó significativamente desde la sabana abierta hasta debajo de los árboles aislados de *Acacia tortilis* y *Adansonia digitata*, donde el pasto estrella fue la especie dominante. También está acorde con lo planteado por Ericksen y Witney (1981), quienes encontraron en seis gramíneas tropicales diferencias altamente significativas en el contenido de calcio bajo la sombra y a pleno sol. Además, en Malasia se realizó una prueba en macetas (Wong, 1990) para estudiar la respuesta de cuatro leguminosas a diferentes intensidades de sombra (100, 56, 34 y 18 % en invierno) y se observó que el promedio de calcio se incremento con la disminución de la luz.

La estacionalidad condiciona un comportamiento singular de los minerales bajo la sombra de los árboles; en este sentido, mientras a pleno sol en el período seco la concentración de todos los nutrientes es superior a la registrada en el período lluvioso como consecuencia del aumento de la concentración en función de menor producción de forraje, Costa, Townsend, Margalhaes y Pereira (1999) y Solórzano y Arends (1998) observaron en el pasto estrella bajo la influencia de la sombra, que el contenido de Ca fue mayor en la época lluviosa (0,29%) comparado con la época seca (0,21), al tiempo que el P en ambas épocas alcanzó 0,31%; ello puede ser explicado por el efecto de la sombra y el reciclaje de nutrientes procedentes de los árboles y otros componentes del sistema que se intensifican con las lluvias de la primavera.

✓ Contenido y extracción de nitrógeno

El nitrógeno (N) es otro componente químico de las plantas, el cual promueve un análisis más detallado por la importancia que tiene como constituyente esencial de las proteínas. A partir de esta idea, muchos autores parecen coincidir en el hecho de que en pastizales compuestos por gramíneas fundamentalmente y establecidos bajo árboles, donde el dosel proyecte entre 40 y 80% de sombra, se alcanzan mayores niveles de sustancias nitrogenadas (Bronstein, 1984; Rodríguez, 1985), y en el caso de algunos pastos tropicales como el *C. nlemfuensis* y el *P. maximum*, este fenómeno se hace aún más evidente, por las características de estas especies y su adaptabilidad a la reducción de la luz, (Ortega y González, 1990; Pentón y Blanco, 1997).

En Sanford (sureste de Queensland, Australia), Wilson, Hill, Cameron y Shelton (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*), y además con los obtenidos por Viávava, Clavero y Araujo-Febles (1997), quienes observaron un ligero incremento del contenido de proteína bruta en *P. maximum* desde el pleno sol (20,87% de PB) hasta 50% de sombra proyectada por *A. saman*, donde el pasto guinea alcanzó 21,4 % de PB. Sin embargo, con 100 % de sombra este indicador disminuyó hasta 18,36%.

De igual forma Venegas (1971) en asociaciones de *Pennisetum purpureum* con jaúl (*Ahus jorulensis*), encontró en el pasto sin sombra una concentración de 10% de proteína cruda; mientras que en el asociado con plantaciones jóvenes y más desarrolladas, la concentración de proteína varió entre 15 y 20 %.

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).

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 %. Además, en ese mismo pasto Solórzano y Arends (1998) observaron que el porcentaje de PC según la distancia del tronco, fue significativamente mayor debajo de la copa (18%) y menor a plena exposición solar (13,17%).

Por el contrario, Saldarriaga, Botero, David y Giraldo (1994) no encontraron efectos de los árboles en los contenidos de proteína bruta del pasto guinea en sistemas silvopastoriles naturales, lo cual puede ser una respuesta a la acción de otros factores no controlados y que pudieran estar ligados a los discretos valores alcanzados por dicha especie (7,8% como valor promedio en el sistema).

En el caso de las leguminosas, en un ensayo efectuado bajo una cubierta cerrada de palma Chen y Bong (1983), notaron que *Desmodium ovalifolium* en condiciones de severo sombreamiento alcanzó un contenido de 34 kg de N/ha/año. Por su parte, Wong (1990) observó que la proteína cruda se incrementó cuando la sombra varió de un 18 a un 56%. Las leguminosas de mayor rendimiento de PC fueron *Pueraria phaseoloides*, *Calopogonium mucunoides* y *Calopogonium caeruleum*.

En un experimento realizado con *P. notatum* bajo árboles, el total de nitrógeno extraído del suelo fue mayor bajo la sombra que en condiciones de luz solar plena. El 67% del nitrógeno se extrajo en verano (51% de luz) y el 18% en invierno (35% de luz) (Wilson, Cameron, Shelton y Hill, 1990). Esto sugiere que en la época de verano ocurre una mayor mineralización que condiciona un aumento de la extracción, lo que coincide con lo sugerido por Anon (1990), y en el caso de que en el sistema estén presentes árboles caducifolios del género *Leguminosae*, juega también un papel importante la fijación de nitrógeno a través de la arborea, el suministro favorable de nutrientes por el suelo y la acumulación de materia orgánica procedente de los árboles (hojas, ramas finas, flores y frutos) (Puerto, 1997).

✓ Dinámica glúcido – nitrógeno

La dinámica glúcido-nitrógeno reviste gran significación en el metabolismo de las plantas (Hughes, 1968) y todo parece indicar que sus cambios dentro de los sistemas arbolados está altamente influenciados por la reducción de la intensidad de la luz (Alberda, 1965). 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), lo cual 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.

Spencer (1958) indicaron que aunque en muchas plantas la reducción del nitrato de amonio ocurre por reacciones fotoquímicas, generalmente esta transformación suceden a expensas de los azúcares. Los nitratos absorbidos por las raíces deben ser reducidos a amoniaco 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).

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). En este sentido, Schoberlein 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 fue reportado en condiciones de sombra natural por el efecto de la presencia de árboles (Daccarett y Blydenstein, 1968; Bronstein, 1984).

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 diurna 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 interceptación de la luz por los árboles y los contenidos de MS (Y₁) y PC (Y₂) del pasto, que puede describirse en las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} Y_1 &= 22,08 e^{-0.0012x} & (r^2 &= 0,73) \\ Y_2 &= 4,69 e^{0.064x} & (r^2 &= 0,86) \end{aligned}$$

Ello significa que la reducción creciente de la luz conduce a una disminución del por ciento de materia seca y un aumento del contenido de proteína bruta.

I.4 Relaciones entre la composición botánica y la composición química

El papel de la especie y el cultivar con relación a la composición química de los pastos es de gran importancia, pues existen marcadas diferencias con respecto a la capacidad de extracción de los minerales, la eficiencia de utilización de los nutrientes y las características genéticas que traen consigo que las plantas acumulen en proporciones distintas los compuestos nitrogenados, los carbohidratos solubles, los carbohidratos estructurales, los compuestos grasos y los minerales, lo que está determinado en gran medida por la exigencia y la tolerancia de las especies ante las características del entorno y la acción del hombre.

Por todo ello, la alteración de la composición botánica en los pastizales usualmente significa cambios en la composición química y la calidad. Al respecto, Morrinson (1979) apuntó de manera general que la composición botánica puede ser en cierto modo un indicador de la calidad del pastizal y que la presencia de malezas en los pastizales rebaja notoriamente la calidad de estos (Cruz, 1979).

Este fenómeno puede observarse en los ejemplos que a continuación se presentan sobre la composición química de algunas especies de pastos naturales y mejorados cultivados a pleno sol y en diferentes fases fenológicas.

El primer caso consiste en la comparación a las 6 semanas después del corte, entre *D. annulatum* cultivado en Malasia y *P. maximum*, donde la primera especie alcanzó un contenido de fibra bruta (34,9%) superior al de la segunda (31,2%); mientras que con respecto al contenido de cenizas *D. Annulatum* no superó el 12,1 y *P. máximum* alcanzó 13,2% de cenizas.

Por otro lado, al comparar durante la mitad de la floración *D. caricosum* cultivado en Tanzania, *P. notatum* en Brasil y *B. decumbens* cultivada en Trinidad, se observó que las dos últimas especies

superaron con un valor de 8,4% de PB al *D. caricosum* (7% de PB); mientras que con el contenido de fibra bruta sucedió lo contrario.

En el último ejemplo se puede apreciar la diferencia que en la fase inicial de la floración existe entre *B. decumbens* cultivada en Kenya y *P. notatum* cultivado en Brasil en cuanto a la PB, a favor de la *B. decumbens* (7,4% vs 11,2%), mientras que la FB fue mayor en *P. notatum* (31, 3% vs 28%) (Gohl, 1982).

Cuando se analiza las diferencias entre las especies de pastos bajo la influencia de la sombra, se puede notar que la respuesta de las plantas está determinada por el nivel de tolerancia que tienen las especies a la atenuación de la luz, y en el caso de los pastos asociados con leguminosas arbóreas el nivel de satisfacción de las exigencias nutricionales de las gramíneas o de la tolerancia por parte de las leguminosas rastreras al exceso de nitrógeno acumulado en el suelo.

En tal sentido, Wong (1990) comprobó en un estudio de cuatro leguminosas bajo la influencia de la sombra artificial que el *Stylosanthes sp.* fue la planta de mayor contenido de Ca y *Leucaena peruviana* la que acumuló más K.

Por otra parte, Chen y Bong (1983) refirieron que en un estudio bajo una cubierta cerrada de palma los menores niveles de minerales fueron apreciados en las especies de *Brachiaria*, mientras que los mayores correspondieron a *P. maximum*, *Axonopus compressus* y *Paspalum conjugatum* lo cual indica la capacidad adaptativa de estas plantas a la atenuación de la luz.

De igual forma, Costa, Townsend, Margalhaes y Pereira (1999) notaron en un sistema silvopastoril con árboles sembrados en un marco de siembra de 3,5 x 4 m, que independientemente de las estaciones del año los tenores de Mg y K no fueron afectados entre las gramíneas forrajeras *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *B. humidicola*, *Paspalum atratum* BRA-9610, *P. guenoarum* BRA-3824, *P. regnelli* BRA-0159, *P. plicatulum* BRA-9661 y *Hermarthria altissima*. Sin embargo, los contenidos de P y Ca tuvieron valores significativamente diferentes entre especies; las mayores concentraciones (g/kg) correspondieron en la época lluviosa a *P. guenoarum* BRA-3824, con 1,32 g de P, *P. atratum* BRA-9610 con 5,6 g de Ca y *B. humidicola* con 1,28 y 6,3 g de P y Ca respectivamente. En el período seco *B. humidicola* y *B. brizantha* presentaron las mayores concentraciones de P (1,67 y 1,54 g) y Ca (6,9 y 6,1 g, respectivamente). Los autores seleccionaron entre las 7 gramíneas estudiadas al *P. regnelli* BRA-0159 como el pasto de mayor contenido de nitrógeno (17.2 y 19.3 g/kg de materia seca para lluvia y seca, respectivamente), seguido en orden decreciente por *H. altissima* y *B. brizantha* cv. Marandu. Las concentraciones obtenidas en este trabajo fueron inferiores a aquellas reportados por Castro, Carvalho y García (1998) para diversas gramíneas forrajeras tropicales sometidas al sombreamiento artificial; en tanto fueron semejante a los informadas por Schreiner (1987) para *H. altissima* y *B. decumbens* bajo diferentes grados de sombreamiento (30, 50 y 80 %).

Todo lo anterior nos permite considerar que, efectivamente, la presencia de los árboles condiciona cambios sustanciales en la dinámica de la composición botánica de los pastizales, y ello está estrechamente relacionado con las especies de pastos. A la vez, la sombra que proyecta dicho estrato arbóreo tiene una marcada incidencia en la composición química de la pradera.

CAPITULO II. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

La investigación se realizó en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, provincia de Matanzas, Cuba. Según la clasificación tipológica por zonas climáticas en Cuba, se corresponde con una llanura interior (Habana Matanzas), caracterizada por un humedecimiento estacional de aproximadamente 1300 mm de precipitación anual, alta evaporación y temperaturas cálidas. En la tabla 1 se muestran las condiciones climatológicas prevalecientes durante el año 1997.

La marcada estacionalidad del clima estuvo determinada por un período lluvioso (de mayo a octubre), donde las precipitaciones superan el 80 %, y uno poco lluvioso, donde no alcanzan el 20% de la acumulada en todo el año. Este último coincide con el período de temperaturas más bajas, de menor intensidad de la radiación y días más cortos, lo cual resulta de gran importancia para la interpretación del comportamiento de los pastos.

El suelo característico del lugar es de tipo Ferralítico Rojo hidratado con topografía plana. (Academia de Ciencias de Cuba, 1974), modificado por la existencia durante varios años de un sistema silvopastoril que produjo un aumento considerable del valor promedio de materia orgánica hasta 6,3% y otros indicadores químicos como se muestra en la tabla 2.

El área utilizada estaba destinada al pastoreo de 12 bovinos jóvenes, 5/8 Holstein x 3/8 Cebú, con una edad promedio de 8-10 meses y un peso vivo promedio de 110 kg al inicio de la explotación. El sistema de manejo consistía en una rotación de 56 días, con 7 días de ocupación y 49 de reposo durante todo el período lluvioso y 98 días de rotación, con 12 días de ocupación y 86 días de reposo durante el período poco lluvioso. La disponibilidad de materia seca variaba entre 9 600 y 10 200 kg MS/ha/año y las ganancias de peso oscilaban (promedio anual) entre 398 y 410 g/animal/día.

El área experimental cubrió a 0,72 ha, correspondientes a 6 de los cuarterones (de 1 200m²) enclavados dentro de un sistema silvopastoril caracterizado en su estrato arbóreo por la presencia de una población de *Albizia lebbek* (algarrobo de olor) que se extendió a partir de un núcleo relativamente pequeño de plantas establecidas de forma natural y que en el momento de la investigación contaba con una edad de 15 años.

Dicho rodal estaba formado por árboles en distintas fases de desarrollo, con alturas que variaban entre 4,6 y 8,4 m; el diámetro medio de las copas se encontraba entre 0,9 y 9,1 m y el índice de deformación de las copas varió desde 0,27 hasta 1,0 en la población; la variación del área de la sección del fuste fue desde 1,3 cm² hasta 749,1 cm².

El estrato herbáceo estuvo caracterizado por la existencia de un conjunto de plantas herbáceas, entre las que apareció como pasto preponderante el conjunto de gramíneas mejoradas *Panicum maximum* cv. Común de Australia y cv. Likoni, las cuales se adaptan a los suelos de mediana fertilidad con buen drenaje y resisten bastante bien la sequía

En menor cuantía con respecto al *P. maximum*, pero con poblaciones notables dentro de la cobertura herbácea, se observaron las especies *Dichanthium annulatum* y *Dichanthium caricosum*, *Paspalum notatum* y *Brachiaria decumbens*.

Además estaban presentes pequeñas poblaciones de gramíneas naturales de las especies: *Cenchrus equinatus* L (guizazo), *Sporobolus poireti* (costillera) y *Andropogon bicornis* (rabo de zorro), y las llamadas plantas de hoja ancha entre las que aparecieron las especies: *Amaranthus* sp. (bledo), *Momordica charantia* (cundiamor), *Malachra alceifolia* (malva mulata), *Petiveria alliacea* (anamú), *Commelia nudiflora* L (canutillo), *Emilia fosbergii* (clavel chino), *Pseudocliophontopus spicatus* (lengua de vaca), *Taraxacum officinali* (diente de león), *Vermonia cinerea* (hierba de chivo), *Orgemone mexicana* L. (cardo santo de Cuba), *Solanum nigrum* (yerba mora), *Lantana camara* (Verbena), *Lantana maxima* (berbena), *Ocimum basilicum* (albahaca aninada), *Lepidium virginicum* (mastuerzo) y *Sida rhombifolia* (escoba negra)

Todas estas especies naturales o naturalizadas en Cuba aparecen reportadas como hierbas silvestres o espontáneas que abundan en terrenos yermos y en áreas cultivadas como plantas invasoras por Roig y Mesa (1974) y Sánchez y Uranga (1993).

En el sistema también estaban presentes, aunque de forma dispersa, pequeñas poblaciones de leguminosas rastreras como el *Desmodium ovalifolium* (desmodium), *Desmathus sp.* (desmanthus), *Neonotonia whitii* (glicine), *Clitoria ternatea* (conchita azul), *Arachis postrata* (arachis), *Macroptilium atropurpureum* (macroptilium) y *Mimosa pudica* (dormidera), que es de todas las leguminosas presentes la única considerada totalmente indeseable debido a que entorpece el pastoreo de los animales.

En la investigación el diseño experimental empleado fue en bloques al azar con 6 repeticiones. Para su establecimiento los cuartones se subdividieron en dos unidades de iguales dimensiones (500 m²) con el fin de reflejar lo más claramente posible el contraste que se manifiesta de forma natural entre las parcelas con árboles y las parcelas a pleno sol.

Los tratamientos establecidos fueron:

- ◆ Area de sombra (41,08% de sombra)
- ◆ Area a pleno sol (0,16% de sombra)

Indicadores considerados:

Se consideró como primer indicador el porcentaje de sombra proyectada por los árboles.

Para la composición botánica se establecieron 7 indicadores o grupos de interés ecológico, que fueron considerados convencionalmente por el papel que jugaban las especies dentro del pastizal, su abundancia y sus semejanzas en cuanto al comportamiento ecológico y las características botánicas; estos fueron:

- ✓ % de *Panicum maximum*, donde se agruparon los cultivares Común de Australia y Likoni.
- ✓ % de *Brachiaria decumbens*
- ✓ % del complejo *Dichanthium*. En este grupo aparecen presentes dos especies: *D. annulatum* y *D. caricosum*.
- ✓ % de *Paspalum notatum*.
- ✓ % de otras gramíneas, donde se integran *Cenchrus equinatus* L, *Sporobolus poireti* y *Andropogon bicornis*.
- ✓ % de Plantas de hoja ancha, con 16 especies agrupadas bajo este concepto
- ✓ % de leguminosas rastreras, con 7 especies.

Como indicadores químicos se consideraron:

- ✓ % de materia seca (MS)
- ✓ % de proteína bruta (PB)
- ✓ % de fibra bruta (FB)
- ✓ % de cenizas (Ce)
- ✓ % de calcio (Ca)
- ✓ % de fósforo (P)

Procedimiento

Se realizó una caracterización del sistema en cuanto a la sombra proyectada por el dosel de los árboles y la densidad de árboles en la comunidad. Para ello cada cuartón fue subdividido en dos unidades de iguales dimensiones, con el fin de reflejar lo más claramente posible el contraste que se manifiesta de forma natural en el ecosistema entre las áreas densamente pobladas por los árboles y las

áreas a pleno sol o de menor densidad arbórea, conformando las parcelas experimentales. A continuación se realizó un conteo de los árboles presentes en el rodal y seguidamente se estimó la proyección de sombra utilizando para ello un espejo cuadrulado de $0,15 \text{ cm}^2$ (folioscopio) para simular la fotografía hemisférica de las copas sugerida por Anderson (1978); basado en las conclusiones de Cliford (1965) en cuanto a la relación de este indicador en el régimen de luz dentro de bosques y rodales. Las observaciones se realizaron de forma aleatoria a razón de 20 observaciones por parcela.

Este indicador, que es un índice de la reducción del por ciento de luz directa que atraviesa las copas y llega a la superficie del estrato herbáceo, fue medido dos veces por época.

La composición botánica del estrato herbáceo y su evolución bajo la influencia de la sombra y la presencia de los árboles se midió con un marco cuadrado, a través de un muestreo al azar sobre 20 puntos muestrales de $0,25 \text{ m}^2$ cada uno para un tamaño de la muestra de 5 m^2 por unidad de muestreo, lo que equivale al 1 % de cada parcela. Dichos puntos muestrales se hicieron coincidir con aquellos en los que se determinaba el por ciento% de sombra. El valor promedio anual de cada parcela experimental estuvo apoyado en 80 observaciones realizadas durante los cuatro muestreos que se efectuaron en cada año.

Para la determinación de la composición química del pastizal bajo la influencia de la sombra y la época se realizó un muestreo totalmente aleatorizado, con dos frecuencias por época dentro de cada parcela experimental, simulando el pastoreo de los animales. Posteriormente se pasó a la preparación de una muestra única de follaje por cada parcela y la realización de un análisis químico, siguiendo las técnicas descritas por AOAC (1965), las cuales incluyen la determinación de la FB por la técnica de Henneberg y Stohman, la determinación de la PB por el método de Nessler, la determinación del Ca por complexometría, el P por fotolorimetría azul fosfomolibdica, la ceniza por la diferencia de pesaje y la materia seca por la diferencia de humedad en el tejido vegetal.

La toma de muestras se realizó con una frecuencia de dos muestreos por época, en todos los casos unas horas antes de la entrada de los animales al cuartón, que se encontraba subdividido en parcela a sol pleno y parcela bajo sombra.

El valor medio anual de los análisis de composición química, a diferencia de las observaciones de la composición botánica se apoyó en los cuatro muestreos efectuados en el año, debido a que en este caso todas las muestras tomadas del pasto de cada parcela se unieron en una muestra.

Tratamiento estadístico

El procesamiento de la información consistió en el análisis de varianza bajo los efectos de la época y bajo las condiciones de sol y sombra. Con el fin de complementarlo se procedió a un análisis de correlación y regresión lineal y no lineal utilizando todos los indicadores medidos en 1997; se tomó como unidad de observación el valor promedio de cada una de las 12 parcelas y finalmente se seleccionaron las ecuaciones de mayor ajuste.

CAPITULO III. RESULTADOS

La figura 1 muestra las curvas correspondientes a la densidad de árboles totales y el por ciento de sombra proyectada por el dosel en las parcelas correspondientes al tratamiento con sombra. Mientras el número de plantas totales varió entre 433,3 y 3 500 árboles/ha, el por ciento de sombra estimado por el folioscopio solo varió en el rango de 10 unidades, es decir, desde 38,68 % hasta 48,37%. Además, el incremento de la sombra no se correspondió con el número de árboles presentes en las parcelas.

Por otra parte, en la tabla 3 se presenta el comportamiento de la composición botánica en 1994 y 1997 al nivel de especies. Tanto en el primero como en el último año *P. maximum* alcanzó valores superiores al resto de los componentes botánicos, con excepción del complejo *Dichanthium*, que en 1994 mostró valores muy parecidos a los de *P. maximum*.

La composición botánica de un año a otro sufrió transformaciones importantes, pues en 1994 *P. maximum*, complejo *Dichanthium* y las otras gramíneas naturales ocuparon las tres cuartas partes de la población total de plantas; sin embargo, en 1997 solo el *P. maximum* al duplicar su población inicial, se extendió a poco menos de la mitad del área total en el sistema, en detrimento del complejo *Dichanthium* que disminuyó su población hasta la mitad del área inicialmente ocupada; el grupo de las otras gramíneas naturales, decreció hasta la oncenava parte de su población inicial y las plantas de hoja ancha pasaron de 17,2 a 2,1% de cobertura.

En la figura 2 se aprecia la evolución positiva que tuvo el pastizal en presencia de los árboles a través de los años. La hierba de guinea aumentó su población con una tasa de crecimiento del área cubierta significativamente alta, y además ocurrió un ligero incremento de las leguminosas rastreras y *B. decumbens*, así como una disminución importante de las gramíneas naturales (incluidas las del complejo *Dichanthium*) y las plantas de hoja ancha. El grupo de las otras gramíneas naturales resultó el de mayor tasa de variación negativa a través de los años.

En la tabla 4 se puede apreciar que *P. maximum* en ambos años fue significativamente mayor a la sombra que a pleno sol. Tanto en 1994 como 1997 esta especie ocupó bajo la sombra el mayor por ciento de área cubierta en comparación con los restantes componentes botánicos. Sin embargo, a pleno sol no sucedió igual, pues en 1994 la mayor cobertura herbácea en las parcelas a cielo abierto fue alcanzada por el complejo *Dichanthium* con 39,1%. Este complejo, formado por las pitillas y las jiribillas, contrariamente a *P. maximum* manifestó una disminución considerable de su población desde el tratamiento con luz plena hasta el tratamiento bajo la sombra. De esta manera, si en 1994 su área cubierta a la sombra solo alcanzaba la tercera parte de la cobertura a pleno sol, en 1997 dicho complejo a la sombra no lograba superar la novena parte de la población a cielo abierto.

El grupo de las plantas de hoja ancha fue el tercer componente botánico que mostró diferencias significativas entre tratamientos. En 1994 su población a la sombra superó ampliamente a la población bajo la luz solar plena (tabla 4). Sin embargo, en 1997 este complejo de plantas disminuyó considerablemente en todo el sistema y no mostró evidencias de afectaciones en su población por causa del sol o la sombra. *B. decumbens*, *P. notatum*, el grupo de las otras gramíneas naturales y las leguminosas rastreras tampoco se afectaron estadísticamente por efecto de la sombra.

En la tabla 5 se presenta la variación al sol y a la sombra de la composición química del estrato herbáceo, analizada por períodos climáticos. Hubo diferencias entre tratamientos para el contenido de fibra bruta, cenizas, proteína bruta y materia seca. Tanto en el período lluvioso como en el período seco el contenido de FB fue mayor a plena luz solar. El contenido de MS, aunque resultó superior durante la lluvia en el tratamiento a pleno sol, en el período seco mostró un comportamiento totalmente diferente a favor de la sombra.

El contenido de proteína bruta en el pasto bajo la sombra, superó ampliamente el valor de este indicador a pleno sol, con una diferencia entre tratamientos equivalente a 6,7 unidades porcentuales en el período lluvioso y 3,1 unidades en la época poco lluviosa. Situación semejante se hizo evidente

también para el contenido de cenizas totales, el cual alcanzó en el pasto bajo la sombra 10,1 y 10,9 % (seca y lluvia, respectivamente); mientras que a pleno sol no superó el 9,5%

Por otra parte, el contenido de calcio mostró un comportamiento diferente entre épocas, pues mientras en el período seco se mantuvo casi invariable entre tratamientos, en el período lluvioso difirió significativamente entre las áreas sombreadas y a pleno sol a favor de la sombra. El contenido de fósforo no se afectó por efecto del sol o la sombra y en ambos tratamientos se mantuvo con valores inferiores a los requeridos por los bovinos en pastoreo para una adecuada alimentación.

En la figura 3 se puede observar la variación estacional de la proyección de sombra bajo la copa de los árboles, que en el período lluvioso llegó a ser de 51,70 ^(a) %; mientras que con la llegada de la estación invernal la caída de las hojas de los árboles trajo consigo una significativa disminución de este indicador, que se redujo hasta 36,87 ^(b) % de sombra.

En la tabla 7 se presenta la matriz de correlaciones obtenida en 1997. existió poca correlación entre el por ciento de sombra y la densidad total de árboles, que incluye las plantas en edad juvenil y adulta. Además hubo una correlación positiva y relativamente baja de la sombra con el área de *P. maximum* y relativamente alta y negativa con las poblaciones del complejo *Dichanthium*.

Con respecto a la composición química se destaca la relación positiva (entre media y alta) de la sombra, el contenido de proteína bruta y el por ciento de calcio. De igual manera sucede con la presencia de *P. maximum* y el contenido de proteína bruta y cenizas en el pasto (0,89 y 0,74, respectivamente).

El *P. maximum* se correlacionó de forma alta y negativa ($r=-0,86$) con la presencia del complejo *Dichanthium*; a su vez esta última variable mostró igual valor del coeficiente con el % de sombra.

Por otra parte, la correlación entre el complejo *Dichanthium* y la composición química del pastizal mostró valores negativos entre medios y altos con el por ciento de PB ($r= -0,87$), este a su vez se correlacionó con las cenizas totales, con un coeficiente alto y positivo.

En las series de análisis de regresión se presenta un conjunto de ecuaciones con el empleo de modelos lineal simple, lineal múltiple, no lineal (exponencial) y no lineal (logístico).

En la primera serie se puede observar la relación de dependencia de la hierba guinea con la sombra, la densidad de árboles y cinco componentes botánicos, de los cuales la mayor contribución estuvo determinada por las plantas de hoja ancha, seguida por *P. notatum*, *B. decumbens*, el complejo *Dichanthium* y el grupo de las otras gramíneas naturales.

Además en la ecuación I.2 se puede apreciar que en coincidencia con la matriz de correlaciones, las variables por ciento de sombra y densidad de árboles contribuyen de manera positiva al aumento de la población de *P. maximum*.

La serie II muestra el nivel de dependencia de *B. decumbens* con respecto a seis variables independientes (el grupo de las otras gramíneas, *P. notatum*, las leguminosas rastreras, las plantas de hoja ancha, *P. maximum* y la sombra proyectada), a través de las cuales se alcanzó un coeficiente de determinación significativamente alto y a la vez se obtuvo una desviación estándar de 2,92.

La tercera serie representa una ecuación lineal múltiple, la cual indica que la acción conjunta de la sombra de los árboles, y la presencia de *P. maximum* determinaron el decrecimiento de las poblaciones del complejo *Dichanthium*. La segunda ecuación de esta serie muestra una regresión lineal simple, en la que se destaca que a través de la variable por ciento de sombra es posible explicar hasta el 74,22 % de las variaciones en la reducción de las pitillas y las jiribillas

A continuación se presenta la serie IV, con *P. notatum* como variable dependiente de ocho componentes botánicos presentes en el sistema, de la sombra y de la densidad de árboles. La ecuación correspondiente a esta serie logra explicar el 91,4% de las variaciones de *P. notatum*, con una desviación estándar de 3,54.

Las variaciones del grupo de las otras gramíneas naturales pueden ser explicadas a través de la ecuación V.1, en la que se puede observar, al igual que en la serie anterior como las variaciones en el espacio de este grupo de gramíneas estuvieron determinadas por las relaciones de afinidad o de

competencia entre los componentes botánicos y por la acción de la densidad de árboles y su proyección de sombra. No obstante, un 15% de los cambios en este grupo de gramíneas no es posible explicarlos a través de los factores estudiados en el sistema. En el caso de las plantas de hoja ancha, aunque en este caso la presencia de los componentes botánicos y la densidad de los árboles solo determinaron un 52,4% de las variaciones de este complejo de plantas.

Por otra parte la ecuación VII.1 muestra la influencia positiva de las especies *P. notatum*, *B. decumbens*, el grupo de las otras gramíneas y la densidad de árboles, sobre la población de las leguminosas; mientras que el complejo *Dichanthium*, el por ciento de *P. maximum* y el por ciento de sombra contribuyeron a su retroceso.

Con respecto a la composición química del pastizal, a continuación se presentan ecuaciones en la que se intenta explicar las causas de las variaciones en el contenido de FB, MS, PB y cenizas.

En la ecuación VIII.1 se puede observar que los componentes botánicos *P. notatum*, *B. decumbens*, *D. annulatum-caricosum* y *P. maximum*, en interacción con la sombra, la densidad de árboles y el por ciento de MS, PB y cenizas, lograron explicar las variaciones del por ciento de FB, con un coeficiente de determinación de 0,88. En esta ecuación llama la atención el hecho de que el contenido de PB influyó significativamente en la disminución del por ciento de FB, con un coeficiente de regresión parcial equivalente a 3.2. Además, las especies de *P. notatum*, *B. decumbens* y *P. maximum* mostraron una relación inversa con el contenido de FB; mientras el complejo *Dichanthium* expresó un coeficiente de regresión parcial positivo.

No obstante, la ecuación VIII.2 muestra que las variaciones en el contenido de PB, MS, cenizas, sombra y densidad de árboles, sin incluir los indicadores de la composición botánica, determinaron el 65,65% de los cambios en el por ciento de FB, con una desviación estándar equivalente a 1,74.

En la ecuación VIII.3 se puede apreciar la contribución negativa de las variables por ciento de sombra y densidad de árboles sobre el por ciento de FB, sin la participación del resto de las variables.

En la serie IX se puede observar el nivel de dependencia del contenido de materia seca con respecto a la sombra, la composición química y la composición botánica del pastizal. La regresión comienza a ser aceptable cuando interactúan el por ciento de cenizas, la PB, la FB y la sombra proyectada por los árboles; alcanzando de esta forma un coeficiente de determinación de 0,66 y tanto la ceniza, como la proteína y la fibra bruta muestran una contribución negativa con el contenido de materia seca (ecuación IX.2). En la ecuación (IX.1) donde además de los elementos químicos se integran los componentes botánicos del pastizal, se aprecia una elevación significativa del coeficiente de determinación (0,994), con una desviación estándar mínima de 1,941.

En la serie X se presenta el nivel de dependencia del contenido de proteína bruta con los restantes componentes estudiados en el sistema la cual consta de siete ecuaciones. Debe destacarse el hecho de que la variable densidad de árboles explica por si sola, a través del modelo logístico, el 62% de las variaciones de la PB. Un comportamiento muy parecido se puede apreciar en la ecuación X.7 con el por ciento de sombra, pero a través de un modelo exponencial.

Las ecuaciones IX.3, IX.4 y IX.5 permiten apreciar como el % de *P. maximum* logra explicar a través del modelo logístico el 83% de las variaciones de la proteína. Otros valores interesantes se pueden apreciar con el % de *Dichanthium* (aunque con una relación lineal simple y un coeficiente de determinación de 0.76), y con el contenido de cenizas a través del modelo lineal simple, con una $r^{**2}=0.71$

Las ecuaciones X.1 y X.2 muestra dependencias lineales múltiples del contenido de PB con respecto a la sombra proyectada, la densidad de árboles y la composición química del pasto, con una R^{**2} superior a 0.94. En la ecuación X.1 el por ciento de cenizas constituye la variable de mayor peso (con una relación directa), seguida por el contenido de FB y MS, con valores negativos en el coeficiente de regresión parcial. En la X.2 la acción conjunta de las variables % de Ce, % de *P. maximum*, % de sombra y densidad de árboles mejoran aún más la regresión hasta alcanzar un coeficiente de determinación de 0,953.

En la serie XI se puede observar la relación de dependencia del contenido de cenizas con los restantes componentes químicos de la planta, la sombra y la densidad de árboles. En la primera ecuación la acción conjunta de la sombra, la densidad de árboles y la composición química del pasto lograron explicar el 83% de las variaciones de la ceniza; mientras que en la ecuación no lineal simple (XI.2) se aprecia que el % PB logró explicar a través del modelo logístico el 72% de las variaciones del contenido de cenizas en el pasto.

CAPITULO IV. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Aunque el sistema silvopastoril donde se realizó la investigación estuvo caracterizado por la existencia de un gradiente de densidad de árboles en las parcelas arboladas, ello no repercutió de manera notable en los por cientos de sombra proyectada por los árboles (figura 1), lo cual confirma la baja correlación obtenida en la matriz entre la densidad de árboles y la sombra proyectada ($r=0,67$).

Para explicar este fenómeno es conveniente plantear que además de la densidad de árboles en una comunidad, su estructura y composición constituyen las principales características que regulan el régimen luminoso.

En estas condiciones la reducción de la luz depende en gran medida de la especie de planta y de la presencia de varios estratos dentro del sistema, ya sea por la existencia de árboles en estado adulto, en fase juvenil y rebrotes (Blanco, 1998).

En el presente caso, los árboles que crecían en las parcelas donde la densidad de plantas era baja, desarrollaron plenamente su dosel, lo que les permitió una amplia proyección de sombra. Sin embargo, en las áreas más densamente pobladas las plantas crecían como arbustos con tallos finos y una gran elongación apical que limitó el desarrollo de sus copas.

El estrato arbóreo con el decursar de los años se extendió, desarrolló su copa y, consecuentemente, produjo más sombra. Paralelamente la cobertura herbácea manifestó un comportamiento diferente entre el primero y el último año de estudio (tabla 3), que se manifestó en el hecho de que mientras en 1994 los pastos sobresalientes fueron este orden: el complejo *Dichantium*, *P. maximum* y el grupo de las otras gramíneas naturales o naturalizadas; en 1997 solo *P. maximum* (con una tasa de crecimiento anual relativamente alta) logró ocupar casi la mitad de la cobertura herbácea total, esto explica el nivel de competencia de dicha especie, que aumenta en presencia de las leguminosas arbóreas dadas las condiciones favorables que se crean bajo estas plantas caducifolias (enriquecimiento del suelo con materia orgánica, aumento del contenido de humedad, atenuación de las temperaturas diurnas, disminución de la velocidad del viento, etc).

Williams y Black (1994) plantearon que las plantas invasoras o resistentes como lo es el *P. maximum* en este sistema, poseen un alto nivel de plasticidad fenotípica que les permite explotar de forma óptima los recursos en el nuevo ambiente, el cual puede resultar muy poco semejante al de su rango inicial. Ello explica el porqué de la amplia diversidad taxonómica de estas plantas, que desarrollan distintos requerimientos ambientales y diferentes papeles agroecológicos en las comunidades donde están presentes. Muchas de estas especies (altamente resistentes a la competencia) en determinadas condiciones pueden estar caracterizadas por una naturaleza tal de agresividad que les permite mantener un estatus en el que su población puede mantenerse constante durante largos períodos de tiempo.

En la tabla de análisis de varianza de la composición botánica, llama la atención la poca competitividad del complejo *Dichantium* bajo la sombra, así como el hecho de que el grupo de las plantas de hoja ancha, después de haber mostrado en 1994 una gran preferencia por la sombra, disminuyera su población en el sistema hasta el punto de no dar evidencia alguna de afectaciones por concepto de luz-sombra, ello permite inferir que hubo otros factores incidiendo sobre la población de plantas de hoja ancha y que pudieron estar relacionados con el mejoramiento de las características fitoclimáticas bajo las copas de los árboles, que favorecen las especies más competitivas y productivas del pastizal (Gómez y Paretas, 1978; Remy, 1982; Blanco, 1986; Alvarez, 1994), en lo cual se destacaron el papel de la reducción de la luz y la fertilización nitrogenada del suelo sobre el retroceso y la reducción de las plantas indeseables.

Cabe destacar, además, que los cambios en la flora en función de las características ambientales dependen de la ventaja o desventaja relativa en que pone a uno u otro pasto de acuerdo con sus exigencias y tolerancias.

Las leguminosas rastreras constituyen otro grupo florístico que se debe destacar en el análisis, el que contrariamente a lo que se conoce sobre su comportamiento dinámico en condiciones de reducción de la luz, se desarrollaron mejor a cielo abierto que bajo la sombra de los árboles.

Según Kitamura, Whitney y Guevara (1981) y Hernández (1984) el nivel de competitividad de las leguminosas rastreras a la sombra está determinado por su capacidad de ganar acceso preferencial a la radiación incidente por medio de la altura. De ahí que a las leguminosas rastreras presentes en el sistema, al limitárseles el acceso a la luz por no ser en general plantas trepadoras, se les redujo la posibilidad de escapar de la interferencia de las plantas vecinas. Además, se ha demostrado que *P. maximum* absorbe más nitrógeno y se desarrolla mejor cuando está a la sombra, mientras que las leguminosas rastreras inhiben su desarrollo radical en los suelos con altos contenidos de nitrógeno, lo cual atenta contra su capacidad de expansión (López, 1982; Cuesta y López, 1984).

Con respecto a la composición química del pasto, llama la atención la significativa disminución del por ciento de materia seca bajo la sombra de los árboles durante el período lluvioso, etapa en la cual ocurrieron las mayores precipitaciones y *A. lebeck* mantuvo su dosel plenamente copado de follaje, con una consecuente proyección de 51%. Este fenómeno coincide con las afirmaciones de Páez, González y Pereira (1994) y Giraldo, Botero, Saldarriaga y David (1995) referidas al hecho de que con el aumento de la sombra en los pastizales ocurre una reducción del contenido de materia seca como resultado de la disminución de las concentraciones de carbohidratos solubles (Alberda, 1965) y la estimulación del aumento del contenido de humedad en el pasto (Capote y Shishchenko, 1974). Sin embargo, el aumento significativo de la concentración de MS bajo la sombra durante el período seco, como un posible resultado de la reducción de la sombra de los árboles (hasta 36,87%) como producto de la caída de sus hojas sugiere que la proyección de niveles moderados de sombra y la llegada al suelo de una radiación solar difusa producida por los árboles del género *Leguminosae*, que trae consigo la disminución de la sobresaturación lumínica y el incremento de la eficiencia en el uso de la radiación, (Sin Clair, Shiraiwa y Hammer, 1992; Subramanian, Venkates, Warlu, Maheswari y Narayana Reddy, 1993), puede compensar los efectos de la sombra referidos por Alberda (1965) y Capote y Shishchenko (1974).

Debe destacarse además que el aumento del contenido de nitrógeno bajo la sombra moderada no implica la disminución de los niveles de carbohidratos solubles por concepto de reducción de nitratos, pues existe un efecto compensatorio, la fotosíntesis, que permite suplir las necesidades de glúcidos en la planta y mantiene un aceptable nivel de producción de biomasa, cuando bajo determinados árboles tropicales (de hojas compuestas y foliolos pequeños) se produce una radiación difusa y los rayos de luz directa inciden sobre la superficie del suelo en forma intermitente.

Mientras tanto a pleno sol, en las horas de mayor intensidad de radiación, y donde la llegada de la luz solar total no está acompañada por un ligero movimiento del viento, la temperatura se eleva, ocurre un estrés hídrico, se cierran los estomas y finalmente se reduce la capacidad fotosintética de las plantas que se traduce en una disminución de los azúcares (Smith, 1981, 1985)

Además, si bien en cierto que la sombra afecta la producción de materia seca de algunas gramíneas tropicales no adaptadas, la magnitud de este efecto varía según la especie. De ahí que plantas como *Cynodon nlemfuensis*, *P. notatum*, *B. decumbens*, *B. brizantha* y *P. maximum* han sido reportadas como tolerantes a la sombra (Guevara, Curbelo, Canino, Rodríguez y Guevara, 1996 y Zelada, 1996), y algunas de ellas beneficiadas desde el punto de vista de su producción de biomasa (Wilson, Hill, Cameron y Shelton, 1990; Ruíz, Febles, Díaz, Hernández y Díaz, 1994 ; Calzadilla, Leyva, Torres, Sánchez y Martínez, 1996).

Por otra parte, el contenido de fibra bruta que fue significativamente superior a pleno sol tanto en la lluvia como en la seca, confirma los resultados reportados históricamente en la literatura mundial, referidas al hecho de que la luz solar plena y las altas temperaturas estimulan la formación en la planta de carbohidratos estructurales.

Un componente químico que no difirió entre tratamientos fue el fósforo, el cual ha sido reportado por algunos autores como un elemento poco variable que no muestra evidencias de afectaciones por concepto de luz solar (Guevara, Ruíz, Curbelo, Jiménez y Canino, 1994). Solórzano y Arends (1998) plantearon con relación al fósforo foliar que su contenido en el pasto estrella (*C. nlemfuensis*) depende de varios factores, como la edad de la planta, la relación hoja-tallo, el contenido de biomasa seca, el manejo y la fertilidad del suelo. Al respecto se conoce que en los suelos con altos niveles de nitrógeno, el fósforo asimilable es muy bajo y ello puede observarse en la tabla 1 del capítulo de metodología experimental.

Por otra parte, el aumento significativo del contenido de calcio en primavera bajo el tratamiento de sombra, corrobora los resultados de Belsky (1992; 1994), quien encontró que el calcio aumentó significativamente desde la sabana abierta hasta debajo de los árboles aislados de *Acacia tortilis* y *Adansonia digitata*. Ericksen y Whitney (1981) y Ortega y González (1990), también coincidieron en afirmar que el contenido de proteína cruda de algunos pastos tropicales fue mayor debajo de la copa de los árboles (tabla 5). Ello sugiere que dada las variaciones que se producen bajo el dosel en cuanto al aumento de la humedad relativa del aire y en los primeros centímetros del suelo (Faurie, Soussana y Sinoquet, 1996) y el incremento del contenido de materia orgánica y de la actividad de la biota edáfica (Sánchez, Hernández y Simón, 1999), ocurre un incremento en el nivel de extracción de los elementos del suelo por parte de la planta.

Con respecto al efecto de la época sobre la composición química del pasto y específicamente, a la significativa variación del contenido de materia seca, a favor del período seco tanto al sol como bajo la sombra de los árboles, se confirmó la relación inversa existente entre la concentración de materia seca y la humedad característica del período lluvioso. Además, debe señalarse que en las parcelas arboladas esta variación se acentúa debido a que al factor precipitaciones se unió el factor luz-sombra, puesto que en el período seco *A. lebbeck* permite la llegada al estrato herbáceo de 63.13 % de luz directa (equivalente a 36.87% de sombra, figura 3), y hasta ese nivel de sombra el pasto guinea puede alcanzar adecuadas concentraciones de materia seca (Pentón y Blanco, 1997). Sin embargo, en la primavera el nivel de sombra superó el 50% y ello pudo llegar a ser perjudicial para el mantenimiento de los índices aceptables de materia seca.

El hecho de que los pastos a pleno sol presentaron un mayor porcentaje de proteína bruta en la época seca puede atribuirse a una mayor relación hoja/tallo, mayor porcentaje de materia seca y menor producción de biomasa (Herrera 1983; Mancilla 1995). Sin embargo, Ramos, Herrera, Padilla, Barrientos y Aguilera (1987) y Solórzano y Arends (1998) demostraron que los valores más altos de proteína bruta en pastos bajo sombra se alcanzan en los períodos lluviosos o bajo condiciones de riego, coincidiendo con lo señalado por otros autores.

Por otra parte, al establecer una matriz de correlación entre los indicadores estudiados se constató la correlación relativamente baja existente entre el área ocupada por *P. maximum* y el por ciento de sombra, de lo que se deduce que aunque esta especie responde favorablemente a la sombra dadas las ventajas que esta condición ofrece para su desarrollo, puede mantener un comportamiento indiferente al sol y a la sombra en cuanto a su presencia en la cobertura herbácea, pues si bien bajo los árboles el nivel de competencia de *P. maximum* se presentó en rangos adecuados por concepto de mayor nutrición de las plantas; a pleno sol el nivel de competencia se mantiene en rangos adecuados al haber mayor producción semillas y un mayor por ciento de germinación, así como al mantenerse mejor la estructura macollosa del pasto (Pentón, 2000).

El coeficiente de correlación relativamente alto y negativo entre la sombra y el complejo *Dichantium* indicó que de alguna forma la proyección de sombra no favorece la presencia de las pitillas y las jiribillas en el pastizal, lo cual puede ser un resultado directo de la acción negativa de la sombra sobre determinados procesos, como por ejemplo la germinación de las semillas y la finalización del ciclo de reproductivo de la planta (Ferreira y García, 1994).

Por otra parte, al analizar las correlaciones entre los componentes botánicos presentes en el sistema se puso de manifiesto el alto grado de competencia existente entre el *P. maximum* y el complejo *Dichanthium*. Ello explica, en cierta medida, el resultado obtenido del análisis de varianza con respecto a estos pastos al sol y a la sombra.

Con relación a las relaciones de afinidad o dependencia existente entre la composición botánica y química, el grupo de las otras gramíneas se correlacionó negativamente con el contenido de fósforo ($r = -0,71$) y el complejo *Dichanthium* obtuvo un coeficiente significativamente alto, pero negativo, con el por ciento de proteína bruta, y medianamente alto y negativo con el contenido de calcio y cenizas; mientras que *P. maximum*, que es un pasto mejorado y que en este estudio ha dado muestras de una elevada adaptación a la reducción de la luz, mantuvo una correlación muy positiva con los indicadores de proteína bruta y cenizas totales.

Todo esto da una medida de que el incremento de las concentraciones de proteína bruta y cenizas totales en el tratamiento con sombra no fue solo un resultado de la reducción de la luz, sino que también estuvo condicionado por la presencia bajo la copa de los árboles de especies mejoradas de alta calidad y con elevados niveles de extracción de nutrientes como *P. maximum*. Las gramíneas naturales, por el contrario, se caracterizan por carecer de niveles elevados de proteína.

Ello justifica el hecho de que la sombra mantenga una correlación positiva con el contenido de proteína bruta y también con el calcio, que a su vez parece relacionarse de manera indirecta con la sombra a través de la correlación negativa que mantiene con el complejo *Dichanthium*.

En cuanto a la baja correlación existente entre el contenido de proteína bruta y la leguminosas rastreras, debe señalarse que este fenómeno no solo estuvo influenciado por el contenido de nitrógeno en las plantas, sino también por la extensión de la especie en el pastizal y su posición dinámica, que no favoreció la presencia de dichas plantas en las áreas arboladas, debido al alto contenido de materia orgánica en el suelo y la elevada liberación de nitrógeno que ocurre bajo las copas de los árboles y afecta el desarrollo de las leguminosas.

Con respecto a la correlación obtenida entre el contenido de proteína bruta y ceniza ($r = 0,84$), llama la atención un fenómeno descrito anteriormente y que permite explicar dicha relación: bajo el dosel, la sombra, la humedad, el contenido de materia orgánica, entre otros factores, favorecen los procesos de mineralización y el suministro de nutrientes en forma de iones de calcio, potasio, magnesio, hierro, fósforo, nitratos (Anon, 1990). Ello es una prueba de que el incremento de la proteína en las plantas por concepto de elevación del contenido mineral en el suelo y la extracción de nutrientes por la raíz están indisolublemente ligados al aumento del contenido de cenizas.

Las regresiones lineales y no lineales en las ciencias biológicas constituyen una herramienta que permite explicar las relaciones causa-efecto de los fenómenos que suceden en la naturaleza. De ahí que al analizar las variaciones de los componentes en un sistema natural, debe tenerse en cuenta que la acción de los diferentes factores que conforman dicho entorno se puede expresar de manera directa o indirecta, y en la mayoría de los casos sus efectos aparecen interrelacionados entre sí. En tales condiciones se halló por ejemplo, que la población de *P. maximum* manifestó a través de una ecuación lineal múltiple una alta dependencia con respecto a los restantes grupos de especies. Sin embargo, ello reflejó la realidad del fenómeno solo parcialmente, ya que existió un efecto de competencia entre la hierba con respecto a las especies vecinas, como resultado del proceso de invasión natural. Mientras que *P. maximum* tuvo localizado su centro poblacional en áreas colindantes al lado sur del sistema experimental (a partir de cuyo centro se ha ido expandiendo a través de los cuarterones), otras especies como *P. notatum* y gramíneas naturales de menos importancia se encontraron localizadas en las áreas ubicadas en el lado norte del sistema, donde el pasto guinea no había llegado en su proceso de invasión, lo cual pudo estar determinado por el propio ritmo de evolución de la especie o porque *P. notatum* opuso resistencia a la interferencia de aquella especie.

Con respecto a *B. decumbens*, esta especie mostró un alto coeficiente de regresión parcial con el grupo de las otras gramíneas, lo cual sugiere que aunque en la evolución en el tiempo existan

diferencias entre estos componentes botánicos (figura 2), puede deducirse del análisis de regresión (en espacio) que estas especies manifestaron un comportamiento muy parecido en cuanto a su ubicación dentro del área, con cierta preferencia por los lugares a pleno sol, donde el efecto de competencia de *P. maximum* fue menor. Además, *B. decumbens* es una especie considerada por Daccarett y Blydenstein (1968), Wong (1991) y Zelada e Ibrahim (1997) como moderadamente tolerante a la sombra; lo cual implica que en presencia de plantas altamente tolerantes a la reducción de la luz y con una alta agresividad, esta planta tiende a replegarse hacia las áreas de mayor intensidad de luz.

Resulta un aspecto novedoso de esta investigación el hecho de que la acción conjunta de la sombra de los árboles y la presencia de *P. maximum* condicionaron el retroceso de dos plantas altamente invasoras y muy comunes en las áreas de pastoreo en Cuba (*D. annulatum* y *D. caricosum*).

Este resultado permite entender el hecho de que *D. annulatum-caricosum* tenga entre sus exigencias ecológicas la captación de altas intensidades de luz, condición en la cual se expresa como una planta altamente competitiva; sin embargo, bajo la sombra de los árboles dicha capacidad tendió a ser menor a partir de la presencia de especies muy adaptadas a la reducción de la luz, como *P. maximum*.

El grupo de las plantas de hoja ancha fue uno de los componentes botánicos que más disminuyeron en el sistema, y todo parece indicar que las causas del retroceso estuvieron relacionadas con: la presencia de los árboles, pero no de la sombra; la presencia de *B. decumbens* fundamentalmente en las áreas de menos sombra; la presencia de *P. maximum* con un significativo impacto en la cobertura bajo la copa de los árboles y otras especies como el *D. annulatum*, *D. caricosum* y *P. notatum*.

Con respecto a la composición química del pasto, el hecho de que el por ciento de proteína influyera significativamente en la disminución del por ciento de fibra bruta, con un coeficiente de regresión parcial de 3,20 (ecuación VII.1), corroboró los resultados del análisis de varianza al sol y a la sombra; en el cual mientras la fibra bruta disminuyó con la reducción de la luz, la proteína bruta alcanzó valores significativamente altos bajo la sombra, tanto en la época lluviosa como en la poca lluviosa.

Los coeficientes de regresión parcial negativos de las variables % de cenizas, % de PB y % de FB con respecto al % de MS en una ecuación donde solo interactuaron los componentes químicos del pasto y el factor sombra, sugieren que el aumento del contenido de materia seca pudo estar determinado en gran medida por el aumento del extracto libre de nitrógeno, o sea, carbohidratos solubles y otros elementos no asociados a las cenizas, la FB y la PB.

Las ecuaciones I.1, VII.1 y VIII.1 presentaron una alta complejidad debido a la gran variabilidad de condiciones introducidas en el modelo; como fueron la época seca, la época lluviosa y los tratamientos a la sombra y a pleno sol. Además debe destacarse que en el sistema estuvieron presentes diferentes especies, con características muy particulares; lo cual condicionó que una variable no pudiera hacer una contribución completa a la explicación de la otra, debido a las interacciones existentes entre ellas con los restantes componentes. No obstante las ecuaciones tienen un valor, porque al hacer un balance de todas ellas, lograron explicar un alto por ciento de las variaciones de la composición botánica y la composición química del pasto.

Con respecto al contenido de PB, el hecho de que tanto la presencia de *P. maximum*, como la densidad de árboles y la sombra determinaran su variación a través de modelos no lineales, con coeficientes de determinación altos, indica que la relación entre la concentración de proteína en las plantas y los indicadores antes mencionados es un fenómeno muy unido a la forma de expresarse dicha variable. Estas ecuaciones (logística y exponencial) constituyeron una vía para acercarse al entendimiento de los fenómenos que los modelos lineales múltiples, por su capacidad limitada no lograron explicar.

CONCLUSIONES

- ✓ El nivel de sombra proyectada por los árboles en el rodal natural dependió no solo de la densidad de árboles totales, sino también de otros factores morfoestructurales asociados a la plantación.
- ✓ *A. lebbeck*, en su condición de planta caducifolia, provocó una variación estacional significativa de la sombra.
- ✓ De las especies pratenses presentes en el sistema, *P. maximum* mostró un alto potencial asociativo con los árboles y en estas condiciones la sombra constituyó un factor controlador de las plantas de más bajo valor nutritivo.
- ✓ Bajo las condiciones estudiadas, el complejo *Dichanthium* retrocede de manera notable ante el aumento del nivel de sombra y la competencia del *P. maximum*.
- ✓ Bajo la sombra de los árboles ocurrió un aumento significativo en el contenido de proteína y cenizas en el pasto.
- ✓ El aumento de la calidad del pastizal en lo referente al contenido de proteína dependió en gran medida, de la composición botánica, que fue favorecida por la sombra a partir de la presencia de especies mejoradas de alta capacidad de extracción del nitrógeno presente en el sistema en lo particular el *P. maximum*.
- ✓ En el sistema silvopastoril natural el comportamiento de una variable está afectada por diversas influencias como resultado del conjunto de factores presentes en el mismo, suelen ser superiores a los sistemas pastoriles a pleno sol, del tipo monoespecífico.

RECOMENDACIONES

- ◆ Emplear el *P. maximum* en los sistemas silvopastoriles, como una vía para mejorar la composición botánica y la calidad del pastizal.
- ◆ Realizar investigaciones tendientes a caracterizar el régimen luminoso a partir de la incidencia de la composición y estructura de las comunidades arbóreas.
- ◆ Estudiar el efecto de la sombra de los árboles en el rendimiento, la persistencia y la calidad de especies mejoradas de pastos.

BIBLIOGRAFIA

- 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
- ACOSTA, A., DÍAZ, S., MENGHI, M & CABIDO, M. 1992. Patrones comunitarios a diferentes escalas espaciales en pastizales de las Sierras de Córdoba, Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*. 65:195-207
- 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
- ALVAREZ, F. 1994. La tierra viva: Manual de agricultura ecológica. Universidad Metropolitana, Madrid, España
- ANDERSON, G.W. 1978. Productivity of crops and pasture under trees. In: Integrating agricultural and forestry. (Eds. K.N.W. Howes and R.A. Rummery). CSIRO, Australia. p. 58
- ANDREW, C. S & JOHANSEN, C. 1978. Differences between pasture species in Their requirement for nitrogen and Phosphorus. In Plant relations in pastures. Edit. Wilson, J. R. Australia, CSIRO.
- ANON. 1990. Programa AM: Pasture management and livestock production. *CSIRO. Division of Tropical Crops and Pastures. Annual Report*. p. 10
- APPELMAN, H. & DIRVEN, J. G. P. 1962. Surin. Lanbd., 10 (3): 95
- AOAC, 1965. Official methods of analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. Editorial Board. Washington D.C, USA, 957p.
- ATTA-KRAH, A. N. 1993. Trees and shrubs as secondary components of pasture. En. Proceedings 17 th International Grassland Congress. Palmerston North, New Zealand and Rockhampton, Australia. New Zealand Grassland Association and Tropical Grasslands Society of Australia. p. 2045-2052.
- BELSKY, A. J. 1994. Influences of tress on savannas productivity: Tests of shade, nutrients, and tree-grass competition. *Ecology*, 75 (4) Pp. 922-932
- BELSKY, A.J. 1992. Effects of trees on nutricional quality of understorey grasmineous forage in tropical savannas. *Tropical Grassland* 26:12-20
- BENAVIDES, J.E.; RODRÍGUEZ, 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
- 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 Doctor en Ciencias Agrícolas. Escuela Superior de Agricultura de Praga, Checoslovaquia, 175 p
- BLANCO, F. 1998. Efecto de la sombra sobre la fisiología y la dinámica del pastizal. Diplomado en Silvopastoreo. EEPF “Indio Hatuey”. Pp.15
- 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
- BOTERO, R. & BOTERO, L. M. 1995. Manejo de praderas y cobertura arbórea con ganado de doble propósito en la zona Caribe. Memorias. Seminario Internacional “Sistemas Silvopastoriles. Casos exitosos y su potencial en Colombia”. Santafé de Bogotá, Colombia. Pp 113-123
- 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. UCRI CATIE. Turrialba, Costa Rica. 109 p.
- BRONTEINS, G. 1983. Los árboles en la producción de pastos. Revisión bibliográfica. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 8 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
- BURTON, P. J. 1993. Some limitation inherent to static indices of plant competition. *Can. J. For. Res.* 23:2142
- 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, E.D.A. 1994. Árboles y pasturas: Un estudio sobre los efectos del espaciamiento. *Agroforestería en las Américas*. Año 1, N° 1, p. 18
- 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
- CASTRO, C. R., CARVALHO, M. M. de. & GARCIA, R. 1998. Composicao mineral de gramíneas forrageiras tropicais cultivadas a sombra. En: 35 a. Reuniao Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Botucatu. Anais. Botucatu. Sociedade Brasileira de Zootecnia (SBZ). V. 2, p.554-556.
- CHEN, C.P. & BONG, J.I 1983. Performance of tropical forages under the closed canopy of the oil palm. 1. Grasses. *Mardi Research Bulletin*. 11:248
- CHEN, C.P. 1993. Pastures as the secondary component in tree pastures systems. In: Proceeding 17th International Grassland Congress. February 8-23, 1993. Palmerston North, New Zealand and Rocklampton, Australia. New Zealand Grassland Association and Tropical Grassland Society of Australia. P. 207
- CLIFFORD, G. 1965. Model and measurement in the study of wood land light climates. In: Light as an ecological factor. Edited by R. Brinbridge, G. C. Evans & Q. Rockham. Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh
- COSTA, N. de L.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHAES, J.A & PEREIRA, R.G. de A. 1999. Desempenho agronomico de gramíneas forrageiras sob sombreamento de seringal adulto. *Pasturas Tropicales*. 21 (2): 65
- CRUZ, R. 1979. El control de las malezas en los potreros. En: Pastos y Forrajes. (Ed. J. Lotero). Ediciones del Instituto Colombiano Agropecuario, Colombia
- CUESTA, A. & LOPEZ, M. 1984. Resúmenes II Jornada Científico-Técnica Universitaria de la Isla de la Juventud. p. 91
- 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. 1966. 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
- DEVLIN, R.M. 1979. El metabolismo del nitrógeno. En: Fisiología vegetal. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. p. 295
- 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
- FAURIE, O.; SOUSSANA, F. & SINOQUET, H. 1996. Radiation interception, partitioning and use in grass- clover mixtures. *Annals of Botany*. 77: 35-45
- FERREIRA, E & GARCIA, L. 1994. Manejo de malas hierbas en sistemas agroforestales de Amazonia, Brasil. *Agroforestería de las Américas*. N° 3, p.6.
- 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

- GIRALDO, L. A.; BOTERO, J.; SALDARRIEAGA, J. & DAVID, P. 1995. Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril natural en la región atlántica de Colombia. *Agroforestería en las Américas*. Año 2, N° 8, P. 14
- GIRALDO, L.A & VÉLEZ, G. 1993. El componente animal en los sistemas silvopastoriles. *Industria & Producción Agropecuaria*. Azooidea. Medellín. 1(3): 27-31
- GIRALDO, V. L.A. 1995. Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril natural. *Memorias. Seminario Internacional "Sistemas Silvopastoriles. Casos exitosos y su potencial en Colombia"*. Santafé de Bogotá, Colombia. p. 57-72
- GOHL, B. 1982. Piensos tropicales. Resúmenes informativos sobre piensos y valores nutritivos. Colección FAO: Producción y Sanidad Animal. N°12. 550 p
- GOMEZ, L. & PARETAS, J.J. 1978. Efecto de la frecuencia de corte y la fertilización nitrogenada sobre la composición botánica de cuatro gramíneas tropicales. *Rev. Pastos y Forrajes*, 1 (2): 277
- GRUBB P. 1987. Global trends in species richness in terrestrial vegetation: a view from the northern hemisphere. In JHR Gee & PS Gillier (eds): *Organization of communities, past and present*: 99-118. Blackwell Scientific Publ., Oxford. L FM
- GUEVARA, R.; CURBELO, L.; CANINO, E.; RODRÍGUEZ, 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, A.; 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
- HAWTON, D. 1980. Temperature effects on *Eleusine indica* and *Setaria anceps* grow in association. *Weed Research*. 20, p. 261-266.
- HERNÁNDEZ, R. 1984. Evaluación agronómica de gramíneas en regiones ganaderas bajo diferentes ambientes. Tesis presentada en opción al grado de Candidato a Doctor en Ciencias. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de la Habana, Cuba. p. 37
- HERRERA, R. S. 1983. La calidad de los pastos. En: J. Ugarte y R. S. Herrera (Eds.). *Los Pastos en Cuba*. Tomo II. Pp. 59-108
- 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
- HOPKINS, A & GREEN, J.O. 1979. The effect of soil fertility and drainage on sward changes. In *Changes in sward composition and productivity*. (Edit. Charles A.H. and Haggan R.J.) Occasional Symposium N°10. British Grassland Society
- 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
- KITAMURA, Y.; WHITNEY, A.S. & GUEVARA, A.B. 1981. Legume growth and nitrogen fixation as affected by plant competition for light and for soil nitrogen. *Agron. J.* 73:395-398
- KNOWLES, R. 1991. New Zealand experience with silvopastoral systems: a review journal of *Forest Ecology and Management*. 45: 251-267
- LIBREROS, H.F.; BENAVIDES, J.E.; KASS, D. & PEZO, D. 1994. Productividad de una plantación asociada de Poró (*Erythrina poeppigiana*) y king grass (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*) II. Movilización de minerales. En: *Arboles y arbustos forrajeros en América Central*. (Ed. J.E. Benavides). CATIE. Turrialba, Costa Rica. Vol. II, p. 475
- LOPEZ, M. 1982. Las leguminosas tropicales de pastos y la simbiosis. Tesis de Grado Científico. Instituto de Ciencia Animal. ISCAH, Habana.

- MACHADO, REY. 2000. Análisis de la dinámica morfoestructural y florística de un pastizal bajo pastoreo racional intensivo Tesis presentada en opción al grado científico de Dr. en Ciencias Agropecuarias. Matanzas. Cuba. 112 p.
- MANCILLA, L. E. 1995. Estrategias para el manejo de la fertilidad natural y la fertilización en pastos y forrajes. In Tejos, R., Camargo, M y Zambrano, C., eds. I Seminario sobre Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes. UNELLEZ, Guanare. Pp. 107-123
- MARINERO, M. 1964. Influencia del *Melinis minutiflora* en el crecimiento del *Cordia alliodora*. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 4 p. (Mimeografiado)
- MENÉNDEZ, J.; CORDOVÍ, E. & MARTINEZ, J.F. 1980. Evaluación zonal de pastos introducidos en Cuba. III. Bayamo, suelo vertisol. **Pastos y Forrajes**, 3:1 (41)
- MORRISON, J. 1979. Botanical changes in agricultural grasslands in Britain. In Changes in sward composition and productivity (Edit. Charles A.H. and Haggan R.J.) Occasional Symposium N° 10. British Grassland Society
- 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.
- ORTEGA, L.E & GONZALEZ, B. 1990. Efecto de la fertilización nitrogenada y frecuencia de corte sobre los rendimientos de materia seca y valor nutritivo del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). **Rev. Fac. Agron. (LUZ)** 7 (4): 217-228
- PÁEZ, A., GONZÁLEZ, M. E. & PEREIRA, N. 1994. Comportamiento de *Panicum maximum* en condiciones de sombreado y de luz solar total. Efecto de la intensidad de corte. **Rev. Fac. Agron. (LUZ)** 11: 25-42
- PENTON, G. 2000. Tolerancia del *Panicum maximum* cv. Likoni a la sombra en condiciones controladas. **Pastos y Forrajes**, 23:1 (79)
- PENTON, G., & BLANCO, F. 1997. Influencia de la sombra de los árboles en la composición química y el rendimiento de los pastos (Artículo reseña). **Pastos y Forrajes**, 20:2
- PÉREZ-INFANTE, F. 1979. Principales factores que afectan el pasto como alimento. En: Los Pastos en Cuba (ed.) Funes. F. Ciudad de la Habana, Cuba. Tomo I. P.519
- 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
- PUERTO, A. 1997. La dehesa. Investigación y Ciencia. Octubre. 1997
- RAMOS, N., HERRERA, H. S., PADILLA, C., BERRIENTOS, A. & AGUILERA, J. M. 1987. Pasto estrella mejorado (*Cynodon nlemfuensis*) su establecimiento y utilización en Cuba. CEDICA, La Habana. 153 p
- REMY, V. A. 1982. Comportamiento agronómico del pasto Bermuda Cruzada-1. *Cynodon dactylon* cv. Coastcross-1. Tesis en opción de grado de Candidatura a Doctor en Ciencias Agrícolas en la Escuela Superior Agrícola de Praga, Rep. Soc. de Checoslovaquia
- RENOLFI, R. F. 1989. Producción y manejo de forrajeras nativas e introducidas en el Chaco Semiárido. En Forrajeras y cultivos adecuados para la región Chaqueña semiárida. Curso Taller Internacional. La Rioja 23-27 agosto, 1988. Santiago, Chile. FAO. Pp. 59-70
- REYNOLDS, S. G. 1995. Pasture cattle coconut systems. Bangkok. Thailand. FAO, Regional Office for Asia and the Pacific
- 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 IUCR. Turrialba, Costa Rica. 96 p.
- RODRIGUEZ, E Y DIAZ, D. 1995. Influencia de la sombra del Nim (*Azadirachta indica* A. Juss) sobre dos leguminosas nativas asociadas con pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*, L. Pers).

- ROIG, J.T. 1974. Plantas medicinales, aromáticas o venenosas de Cuba. Ediciones Ciencia y Técnica
- 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
- SALDARRIEAGA, L.; BOTERO, J.; DAVID, P. & GIRALDO, L. 1994. Efecto de tres densidades de árboles en el potencial forrajero de un sistema silvopastoril localizado en un bosque seco tropical. Proyecto de investigación. Universidad Nacional de Colombia, Facultad Ciencias Agropecuarias, Medellín, Colombia. p. 44
- SÁNCHEZ, P Y URANGA, H. 1993. Plantas indeseables de importancia económica en los cultivos tropicales. Editorial Científico Técnica. La Habana
- SÁNCHEZ, S., HERNÁNDEZ, M. & SIMÓN, L. 1999. Diversidad de los organismos del suelo bajo un sistema silvopastoril. III Taller Internacional Silvopastoril "Los árboles y arbustos en la ganadería". Pp 295
- SANDERSON, M. A.; STAIR, D.W. & HUSSEY, M.A. 1997. Physiological and morphological responses of perennial forages to stress. *Advances in Agronomy* 59: 171-224
- 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. Proc. XIII Int. Grassld. Cong., Leipzig. p. 245
- SCHREINER, H.G. 1987. Tolerancia de quatro gramíneas forrageiras a diferentes graus de sombreamento. *Boletim de Pesquisa Florestal*. 15:61
- SHELTON, H. M. 1993. Chaperson summary paper. Session 56: Silvopastoral systems. In: Proceedings 17 th International Grassland Congress. February 8-23. Palmerston North (New Zealand), Rockhompton (Australia). New Zealand Grassland Association; Tropical Grasslands Society of Australia. p. 2012
- SIN CLAIR, J.; SHIRAIWA, T & HAMMER, S. 1992. Variation in crop radiation use efficiency with increased diffuse radiation. *Crop Science* 32: 1281-1284
- SISTACHAS, M. 1979. Malas hierbas, En: Los Pastos en Cuba. Ed. Funes, F y colaboradores, Habana, Cuba
- SMITH, W. K. 1981. Temperature and water relations in subalpine understory plants. *Oecologia* (Berlin) 48: 353-359.
- SMITH, W. K. 1985. Western montane forests. Page 95-126 in B. F. Chabot and H. A. Mooney, editors. *Physiological ecology of North American plant communities*. Chapman and Hall, New York, New York, USA.
- SOLÓRZANO, N & ARENDS, E. 1998. Composición química del pasto estrella en sombra de samán. *Rev. Unellez de Ciencia y Tecnología* 16(1): 1-16
- SOMARRIBA, E. & LEGA, F. 1991. Cattle grazing under *Pinus caribaeae*. 1. Evaluation of farm historical data on stand age and animal stocking rate. *Agroforestry Systems* 13: 177-185
- SPENCER, D. 1958. The reduction and accumulation of nitrate. In: *Handbuch der Pflanzenphysiologie*. (Ed. W. Ruhland). Springer, Berlin. p. 201
- SUBRAMANIAN, V., VENKATES, K., WARLU, S., MAHESWARI, M & NARAYANA REDDY, M. 1993. Influence of solar radiation and vapour pressure deficit on transpiration efficiency of rainfed sorghum. *J. Agronomy & Crops Science*. 171. 336-342
- TIESZEN, L.L. 1983. Photosynthetic systems: implications for agroforestry. In: *Plant research and agroforestry*. (Ed. P. A. Huxley). Proceedings of Consultation Meeting. ICRAF. Nairobi, Kenya. p. 323-346
- VENEGAS, T. 1971. Resumen sobre algunos aspectos silviculturales del *Alnus jorullensis*. En: *Foro de Corporaciones Forestales* (3). Manizales. Col. 5 p.

- VIAVARA, B.; CLAVERO, T & ARAUJO-FEBLES, O. 1997. Efecto del sombreado de samán (*Pithecellobium saman* Jacq. (Benth) sobre el crecimiento y desarrollo del pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq). *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 5 (Supl.1): 39-41
- WESTON, L. A. 1996. Utilization of allelopathy for weed management in agroecosystems. *Agron. J.* 88:860.
- WILLIAMS, D. G. & BLACK, R. A. 1994. Drought response of a native and introduced Hawaiian grass. *Oecologia.* 97: 512
- WILSON, J. R (ed). 1978. Plant relations in pastures. CSIRO. Melbourne, Australia.
- WILSON, J.R & LUDLOW, M.M. 1991. The environment and potential growth of herbage under plantations. Forages for plantation crops. (Eds. H.M. Shelton & W.W. Stur). ACIAR Proceeding N° 32. Canberra, Australia. p. 10
- 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 Repor 1988-1990.** p. 793
- 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. & 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
- 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. 1991. Shade tolerance of tropical forages: a review. In Forages for plantation crops. (Eds. H.M. Shelton & W.W. Stur). ACIAR Proceedings N° 32. p. 64-69
- ZELADA, E. E. 1996. Tolerancia a la sombra de especies forrajeras herbáceas en la zona atlántica de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba
- ZELADA, E.E., IBRAHIM, M. A. 1997. Tolerancia a la sombra de especies forrajeras herbáceas en el trópico húmedo de Costa Rica. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 5 (Supl. 1): 42-44

ANEXOS

Tabla 1. Condiciones agrometeorológicas características del año 1997.

Variables	Período lluvioso	Período poco lluvioso	Media anual
Temperatura del aire (°C)			
Máxima	32.86	29.7	31.28
Mínima	21.41	16.76	19.09
Media	26.4	22.75	24.57
Humedad relativa (%)			
Máxima	97.16	97.83	97.5
Mínima	55.16	50.00	52.58
Media	82.83	80.00	81.41
Evaporación (mm/día)			
Noche	1.22	3.97	2.59
Día	4.39	3.94	4.16
24 horas	5.75	5.14	5.45
Velocidad del viento (km/h)			
Máxima	34.33	33.83	34.08
Mínima	3.95	6.08	5.01
Nubosidad (octavo)	5.16	4.33	4.75
Temperatura del suelo (°C)			
Superficial	34.85	30.13	32.49
2cm	31.73	26.66	29.2
5cm	30.51	26.3	28.4
10cm	29.76	25.33	27.55
20cm	29.28	25.01	27.15
Precipitación (Σ)	1082.16	236.46	(1318.46)

Tabla 2. Caracterización del suelo en el ecosistema estudiado

Indicadores	Valor promedio
pH	6.34
% de Materia orgánica	6.42
P ₂ O ₅ (mg/100 g de suelo)	3.6826
K ₂ O (mg/100 g de suelo)	16.9067
Ca ⁺⁺ (Meq/100g de suelo)	16.717
Mg ⁺⁺ (Meq/100g de suelo)	2.122
Na ⁺⁺ (Meq/100g de suelo)	0.1288
K ⁺ (Meq/100g de suelo)	0.481

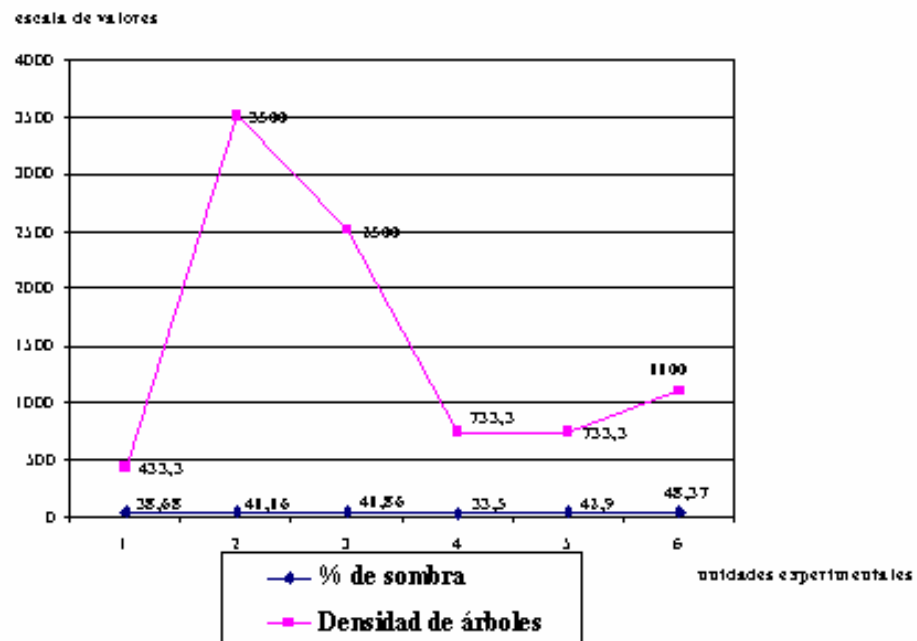


Fig. 1. Proyección de sombra por *Albizia lebbeck* bajo diferentes densidades de siembra.

Tabla 3. Valores promedios de área cubierta por componente botánico.

Componentes (%)	Años	
	1994	1997
<i>Panicum maximum</i>	25.1	48.2
<i>Brachiaria decumbens</i>	0.9	6.1
Complejo <i>Dichanthium</i>	25.3	13.1
<i>Paspalum notatum</i>	4.8	3.6
Otras gramíneas naturales	24.4	2.2
Plantas de hoja ancha	17.2	2.1
Leguminosas rastreras	2.1	3.1

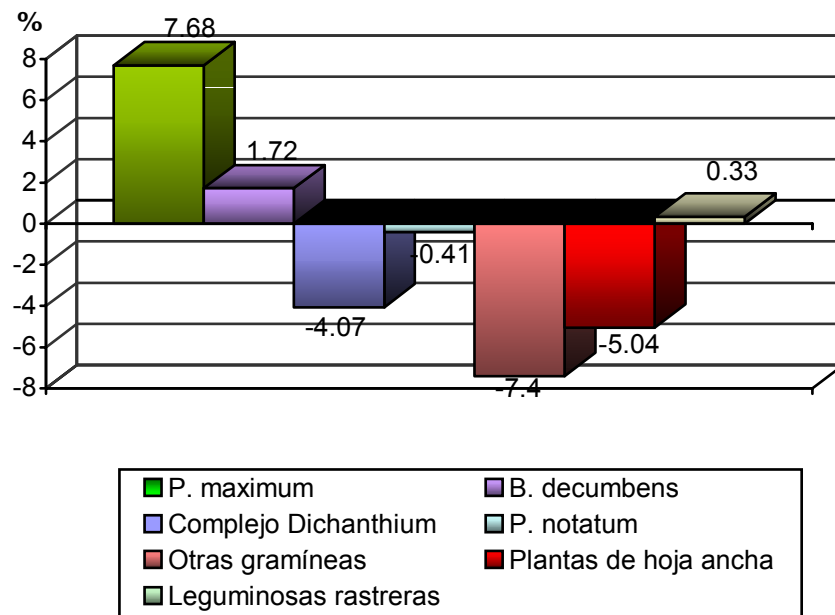


Fig. 2. Tasa de variación anual de la composición botánica en el sistema.

Tabla 4. Variación de la composición botánica por efecto de la sombra.

Tratamientos/ Componentes botánicos %	1994			1997		
	Sombra	Sol pleno	Error Stand.	Sombra	Sol pleno	Error Stand.
P. maximum	34.81 ^(a)	10.18 ^(b)	3.555	63.54 ^(a)	32.92 ^(b)	1.661
B. decumbens	0 ^(ns)	1.45 ^(ns)	0.572	1.34 ^(b)	9.51 ^(a)	1.370
Complejo Dichanthium	9.57 ^(b)	39.86 ^(a)	0.978	1.52 ^(b)	24.37 ^(a)	0.503
P. notatum	2.32 ^(ns)	5.87 ^(ns)	1.240	1.28 ^(ns)	2.89 ^(ns)	0.683
Otras gramíneas	22.28 ^(ns)	26.62 ^(ns)	1.030	0.79 ^(ns)	2.67 ^(ns)	0.616
Plantas de hoja ancha	25.04 ^(a)	8.47 ^(b)	1.970	2.38 ^(ns)	2.03 ^(ns)	0.285
Leguminosas rastreras	0.76 ^(ns)	2.81 ^(ns)	0.571	1.50 ^(b)	4.18 ^(a)	0.506

(a, b): Superíndices comunes a valores de $P < 0.05$

(ns) : Superíndice común a valores de $P > 0.05$

% de sombra

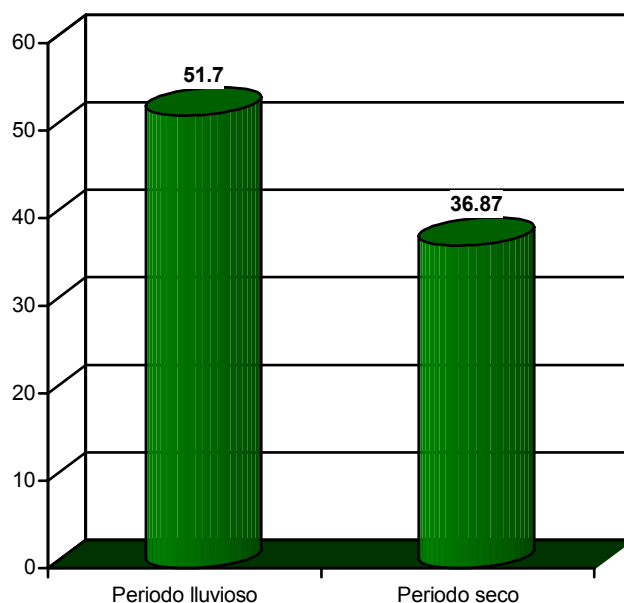


Fig. 3. Variación estacional del nivel de proyección de sombra por árboles.

Tabla 5. Variación de la composición química por efecto de la sombra.

Tratamiento/ indicadores	FB (%)	MS (%)	PB (%)	Ca (%)	P (%)	Ce (%)
Período seco						
Sombra	31.14 ^(b)	28.88 ^(a)	12.61 ^(a)	0.94 ^(ns)	0.14 ^(ns)	10.11 ^(a)
Sol	34.94 ^(a)	26.20 ^(b)	9.52 ^(b)	0.86 ^(ns)	0.12 ^(ns)	9.50 ^(b)
Error estándar	0.690	0.330	0.640	0.027	0.007	0.146
Periodo lluvioso						
Sombra	30.05 ^(b)	18.79 ^(b)	15.16 ^(a)	0.98 ^(a)	0.15 ^(ns)	10.89 ^(a)
Sol	33.58 ^(a)	19.95 ^(a)	8.52 ^(b)	0.76 ^(b)	0.14 ^(ns)	9.28 ^(b)
Error estándar	0.500	0.140	0.600	0.026	0.008	0.189

(a, b): Superíndices comunes a valores de $P < 0.05$ (ns) : Superíndice común a valores de $P > 0.05$

Tabla 6. Matriz de correlaciones

INDICADORES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Densidad de árboles	1													
2. Por ciento de sombra	0.67*	1												
3. Por ciento de P. máximun	0.40*	0.64*	1											
4. Por ciento de B.decumbens	-0.27	0.54*	0.49*	1										
5. Por ciento de P. notatum	-0.26	0.21	-0.59*	-0.3	1									
6. Otras gramíneas naturales	-0.27	0.39	-0.54*	0.86**	-0.06	1								
7. Por ciento de PHA	-0.07	0.06	-0.39	-0.07	0.42	0.12	1							
8. Por ciento de leguminosas	0.34	-0.47*	-0.74**	0.48*	0.53*	0.59*	0.33	1						
9. Por ciento de Dichanthium	-0.59*	-0.86**	-0.86**	0.50*	0.45*	0.45*	0.07	0.57*	1					
10. Por ciento de fibra bruta	-0.12	-0.37	-0.59	0.45	0.35	0.49	0.49	0.50	0.38	1				
11. Por ciento de materia seca	0.22	-0.09	-0.45	-0.04	0.23	-0.03	0.29	0.01	0.33	-0.13	1			
12. Por ciento de proteína	0.59*	0.77*	0.89**	-0.48*	-0.15	-0.05	-0.36	-0.63*	-0.87**	-0.49*	-0.40*	1		
13. Por ciento de fósforo	0.46*	0.14	0.17	-0.50*	0.11	-0.71**	-0.17	-0.30	-0.23	-0.12	0.18	0.22	1	
14. Por ciento de calcio	0.47*	0.75**	0.45*	-0.59*	0.01	-0.54*	0.30	-0.33	-0.73*	-0.22	0.09	0.42	0.45	1
15. Por ciento de cenizas	0.23	0.53*	0.74**	-0.34	-0.39	-0.42*	-0.49*	-0.43*	-0.70*	-0.44*	-0.59*	0.84**	0.15	0.27

SERIES DE ECUACIONES DE REGRESION**SERIE I. Variable dependiente: % de *P. maximum***

$$\text{I.1. } Y = 87.918 - 3.777X_1 - 1.6398X_2 - 1.383X_3 - 1.099X_4 - 0.549X_5 - 0.093X_6 - 0.0029X_7$$

Donde X_1 = % de plantas de hojas anchas Desv. Est. Residual = 10.215
 X_2 = % de *P. notatum* $R^{**2} = 0.930$
 X_3 = % de *B. decumbens* R múltiple = 0.966
 X_4 = % de complejo *Dichanthium*
 X_5 = % de otras gramíneas
 X_6 = Sombra
 X_7 = Densidad de árboles

$$\text{I.2. } Y = 33.477 + 0.7631X_1 + 0.0013X_2$$

Donde X_1 = % sombra Desv. Est. Residual = 20.211
 X_2 = Densidad de árboles $R^{**2} = 0.419$
R múltiple = 0.648

SERIE II. Variable dependiente: % de *B. decumbens*

$$\text{II.1. } Y = 14.016 + 1.124X_1 - 0.853X_2 + 0.702X_3 - 0.577X_4 + 0.151X_5 - 0.051X_6$$

Donde X_1 = % de otras gramíneas Desv. Est. Residual = 2.921
 X_2 = % de *P. notatum* $R^{**2} = 0.947$
 X_3 = % de Leguminosas rastreras R múltiple = 0.973
 X_4 = % de plantas de hojas anchas
 X_5 = % de *P. maximum*
 X_6 = % de Sombra

SERIE III. Variable dependiente: % de *Dichanthium annulatum- caricosum*

$$\text{III.1. } Y = 32.7 - 0.31X_1 - 0.27X_2$$

Donde: X_1 = % de sombra Desv. Est. Residual = 4.53
 X_2 = % de *P. maximum* $R^{**2} = 0.90$
R múltiple = 0.95

$$\text{III.2 } Y = 23.566 - 0.507X_1$$

Donde X_1 = Sombra Desv. Est. Residual = 6.777
 $r^{**2} = 0.742$
 $r = 0.861$

SERIE IV. Variable dependiente: % de *P. notatum*

$$\text{IV.1. } Y=11.075+0.964X_1-0.757X_2+0.400X_3-0.326X_4-0.154X_5+0.086X_6-0.026X_7+0.0004X_8$$

Donde X_1 =% de leguminosas rastreras
 X_2 =% de *B. decumbens*
 X_3 =% de otras gramíneas
 X_4 =% de plantas de hoja ancha
 X_5 =% de *P. maximum*
 X_6 = % de complejo *Dichanthium*
 X_7 = % Sombra
 X_8 = Densidad de árboles

Desv. Est. Residual = 3.540

 $R^{**2} = 0.914$

R múltiple = 0.956

SERIE V. Variable dependiente: % de Otras gramíneas naturales

$$\text{V.1. } Y=-2.073+0.444X_1+0.189X_2+0.054X_3-0.011X_4+0.005X_5-0.0004X_6$$

Donde X_1 =% de *B. decumbens*
 X_2 =% de *P. notatum*
 X_3 =% de sombra
 X_4 =% del complejo *Dichanthium*
 X_5 =% de *P. maximum*
 X_6 = Densidad de árboles

Desv. Est. Residual = 1.859

 $R^{**2} = 0.850$

R múltiple = 0.922

SERIE VI. Variable dependiente: % de plantas de hoja ancha

$$\text{VI.1. } Y=8.928-0.130X_1-0.113X_2+0.110X_3-0.091X_4-0.086X_5+0.058X_6-0.0003X_7$$

Donde X_1 =% de *B. decumbens*
 X_2 =% de complejo *Dichanthium*
 X_3 =% de otras gramíneas
 X_4 =% de *P. maximum*
 X_5 =% de *P. notatum*
 X_6 = % de leguminosas rastreras
 X_7 = Densidad de árboles

Desv. Est. Residual = 1.578

 $R^{**2} = 0.524$

R múltiple = 0.724

SERIE VII. Variable dependiente: % de leguminosas rastreras

$$\text{VII.1. } Y=2.19+0.426X_1+0.271X_2-0.121X_3+0.049X_4-0.034X_5-0.003X_6+0.0001X_7$$

Donde X_1 =% de *P. notatum*
 X_2 =% de *B. decumbens*
 X_3 =% de complejo *Dichanthium*
 X_4 =% de Otras gramíneas
 X_5 =% de sombra
 X_6 = % de *P. maximum*
 X_7 = Densidad de árboles

Desv. Est. Residual = 1.776

 $R^{**2} = 0.880$

R múltiple = 0.940

SERIE VIII. Variable dependiente: % de fibra bruta

$$\text{VIII.1. } Y = 79.86 - 3.201X_1 + 2.002X_2 - 0.943X_3 - 0.793X_4 - 0.669X_5 + 0.503X_6 + 0.261X_7 - 0.159X_8 + 0.004X_9$$

Donde X_1 = % de PB X_2 = % de Ce X_3 = % de MS X_4 = % de *P. notatum* X_5 = % de *B. decumbens* X_6 = % de complejo *Dichanthium* X_7 = % de sombra X_8 = % de *P. maximum* X_9 = Densidad de árboles

Desv. Est. Residual = 1.776

 $R^{**2} = 0.880$

R múltiple = 0.940

$$\text{VIII.2. } Y = 53.28 - 1.190X_1 - 0.279X_2 + 0.027X_3 - 0.017X_4 + 0.0016X_5$$

Donde X_1 = % de PB X_2 = % de MS X_3 = % de sombra X_4 = % de Ce X_5 = Densidad de árboles

Desv. Est. Residual = 1.737

 $R^{**2} = 0.656$

R múltiple = 0.810

$$\text{VIII.3. } Y = 32.20 - 0.0538X_1 + 0.0005X_2$$

Donde X_1 = % de sombra X_2 = Densidad de árboles

Desv. Est. Residual = 1.737

 $R^{**2} = 0.656$

R múltiple = 0.810

SERIE. IX. Variable dependiente: % de materia seca

$$\text{IX.1. } Y = 61.536 - 4.058X_1 - 3.509X_2 - 1.102X_3 - 0.950X_4 + 0.671X_5 - 0.563X_6 + 0.320X_7 + 0.204X_8 - 0.149X_9 + 0.005X_{10}$$

Donde X_1 = % de PB X_2 = % de Ce X_3 = % de *P. notatum* X_4 = % de *B. decumbens* X_5 = % de complejo *Dichanthium* X_6 = % de FB X_7 = % de sombra X_8 = % de otras gramíneas naturales X_9 = % de *P. maximum* X_{10} = Densidad de árboles

Desv. Est. Residual = 1.941

 $R^{**2} = 0.994$

R múltiple = 0.997

$$\text{IX.2. } Y = 134.058 - 4.735X_1 - 1.367X_2 - 1.364X_3 + 0.183X_4$$

Donde X_1 = % de Ce X_2 = % de PB X_3 = % de FB X_4 = % de sombra

Desv. Est. Residual = 5.373

 $R^{**2} = 0.660$

R múltiple = 0.813

SERIE X. Variable dependiente: % PB

$$\text{X.1. } Y = 16.569 + 0.918X_1 - 0.333X_2 - 0.137X_3 + 0.032X_4 + 0.001X_5$$

Donde X_1 = % de Ce

X_2 = % de FB

X_3 = % de MS

X_4 = % de sombra

X_5 = Densidad de árboles

Desv. Est. Residual = 0.919

$R^{**2} = 0.948$

R múltiple = 0.974

$$\text{X.2. } Y = -3.748 + 1.319X_1 + 0.048X_2 + 0.017X_3 + 0.001X_4$$

Donde: X_1 = % de cenizas

X_2 = % de *P. maximum*

X_3 = % de sombra

X_4 = Densidad de árboles

Desv. Est. Residual = 0.879

$R^{**2} = 0.953$

R múltiple = 0.976

$$\text{X.3 } Y = 20.78 / (1 + 2.002^{(-0.0178X)})$$

Donde X = % *P. maximum*

Desv. Est. Residual = 1.375

$r^{**2} = 0.830$

$$\text{X.4 } Y = 15.204 - 0.205X$$

Donde X = % del complejo *Dichathium*

Desv. Est. Residual = 1.528

$r^{**2} = 0.763$

$r = 0.873$

$$\text{X.5. } Y = -12.658 + 2.532X$$

Donde X = % de Ce

Desv. Est. Residual = 1.684

$r^{**2} = 0.712$

$r = 0.844$

$$\text{X.6. } Y = 20.78 / (1 + 1.477^{(-0.0004X)})$$

Donde X_1 = Densidad de árboles

Desv. Est. Residual = 2.030

$r^{**2} = 0.620$

$$\text{X. 7. } Y = 8.389^{(0.0158X)}$$

Donde X = % de sombra

Desv. Est. Residual = 1.969

$r^{**2} = 0.610$

SERIE XI. Variable dependiente: % de cenizas

$$\text{XI.1. } Y = 6.554 + 0.336X_1 + 0.016X_2 + 0.0025X_3 + 0.002X_4 - 0.0003X_5$$

Donde: X_1 = % de PB

X_2 = % de MS

X_3 = % de sombra

X_4 = % de FB

X_5 = Densidad de árboles

Desv. Est. Residual = 0.556

$R^{*2} = 0.830$

R múltiple = 0.911

$$\text{XI.3 } Y = 12.62 / (1 + 3.335^{(-0.219X)})$$

Donde X = % PB

Desv. Est. Residual = 0.587

$r^{*2} = 0.720$