

Caracterización forrajera de un sistema silvopastoril de vegetación secundaria con base en la aptitud de suelo

Forage characterization in three soil types within a secondary vegetation silvopastoral system in Yucatan, Mexico

Gonzalo Zapata Buenfil^{ab}, Francisco Bautista Zúñiga^{ac}, Marta Astier Calderón^c

RESUMEN

Se evaluó la producción forrajera de árboles y arbustos en tres suelos en un sistema silvopastoril (SSP) durante la época seca. Los suelos son: Cambisol epi-léptico (CMlep, 24 %), Cambisol endo-esquelético (CMnsk, 21.3 %) y Luvisol ródico (LVro, 28.4 %). En cada suelo se trazaron tres cuadrantes de 100 m²; se elaboró un inventario de la vegetación con diámetro a la altura de pecho > 1.0 cm. El diseño experimental fue en bloques estratificados por tipo de suelo. Se encontraron nueve especies forrajeras en el SSP, *Bauhinia divaricata* fue la más abundante con 1,148 individuos, y su mayor presencia (577 individuos) está en el LVro; mientras *Piscidia piscipula* con 495 individuos en los tres suelos tiene la mayor área basal (1.8 m²) de las especies forrajeras del SSP. Después del corte de estandarización sólo rebrotaron: *L. leucocephala*, *P. piscipula* y *B. divaricata*. Comparando entre suelos, en el CMlep se obtuvo el mayor rendimiento de forraje que en el CMnsk y LVro, *L. leucocephala* produce más MS por planta que *B. divaricata* y *P. piscipula* en el CMlep. *L. leucocephala* y *P. piscipula* tienen un mejor comportamiento forrajero integral en el CMlep. *B. divaricata* no presentó una clara diferencia en los tres suelos estudiados, pero presentó los valores más altos de rendimiento, respuesta al corte y el mayor número de plantas. Las plantas forrajeras estudiadas tienen potencial de uso durante la época seca. El potencial forrajero puede incrementarse considerando la edafodiversidad. Este sistema silvo pastoril es complementario a los sistemas de ganadería tradicional local.

PALABRAS CLAVE: Forraje, Estación de secas, Cambisol, Luvisol, Yucatán.

ABSTRACT

Tree and shrub forage production were evaluated during the dry season in three soil within a silvopastoral system (SPS) complementary to traditional, local cattle systems in Yucatan, Mexico. Soils were Epileptic cambisol (CMlep, 24 %), Endoskeletic cambisol (CMnsk, 21.3 %) and Rodic luvisol (LVro, 28.4 %). Three, 100 m² quadrants were set in each soil and vegetation with > 1.0 cm maximum tree diameter at breast height inventoried in each quadrant. Experimental design was a stratified block arrangement with each soil being a block. Nine forage species were identified within the SPS. *Bauhinia divaricata* was the most abundant overall with 1,148 individuals and had the largest population (577 individuals) in the LVro. *Piscidia piscipula* (n=495) had the largest basal area (1.8 m²) of the forage species. After standardization cut, only three species produced new shoots: *Leucaena leucocephala*, *P. piscipula* and *B. divaricata*. Considering these three species, the highest forage yield was observed in the CMlep. In this soil, *L. leucocephala* produced higher amounts of DM per plant than *B. divaricata* and *P. piscipula*. *L. leucocephala* and *P. piscipula* had better overall yield in the CMlep. *B. divaricata* did not perform differently in the three studied soils but had greater yield, better cut response and a higher number of plants than *L. leucocephala* and *P. piscipula*. These three species are potentially useful as forage producers during the dry season and their yields could be improved by considering regional pedodiversity.

KEY WORDS: Forage, Dry season, Cambisol, Luvisol, Yucatan.

Recibido el 7 de noviembre de 2008. Aceptado para su publicación el 21 de enero de 2009.

^a Departamento de Ecología, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán.

^b Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Unidad Chetumal.

^c Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia. leptosol@ciga.unam.mx; master@ciga.unam.mx. Correspondencia al segundo autor.

INTRODUCCIÓN

En Yucatán existen 1.5 millones de hectáreas perturbadas, las cuales están cubiertas por vegetación secundaria con diferentes grados de desarrollo, en donde se albergan especies con un alto potencial forrajero^(1,2,3). Estas especies son la expresión del manejo intensivo que las selvas han tenido por la cultura maya^(4,5).

En la península de Yucatán predominan los suelos de los grupos Leptosol, Cambisol y Luvisol; en ellos existen más de 140 especies forrajeras, que representan una oportunidad para diseñar sistemas agroforestales^(6,7). Para manejar adecuadamente la sucesión vegetal y darle un uso adecuado a las especies forrajeras, es importante estudiar su comportamiento con las diversas comunidades de plantas dependiendo de los diferentes suelos. Sobre todo porque el suelo es el principal factor causante de las diferencias en el tipo y distribución de la vegetación en un ecosistema dado, debido a las características físicas y químicas como el pH, materia orgánica, disponibilidad de nutrimentos, textura, cantidad de tierra fina, profundidad, compactación, pedregosidad y rocosidad⁽⁸⁾.

La ganadería extensiva ha sido la responsable de gran parte de la deforestación al convertir las selvas en pastizales artificiales⁽⁷⁾; las pasturas establecidas durante periodos prolongados provocan cambios importantes en la estructura física del suelo, como su compactación y la pérdida de la fertilidad, entre otros^(9,10). Para tratar de revertir o frenar estos efectos en los pastizales, se invierte gran cantidad de esfuerzo y recursos económicos como la fertilización y riego⁽¹¹⁾. Se hace énfasis en que la fertilización nitrogenada es un método efectivo para incrementar la producción⁽¹²⁾ pero implica un alto costo y no resuelve el problema de la estacionalidad. Mientras que con el riego se reduce el problema de la estacionalidad, pero esta tecnología no siempre está disponible y es muy costosa. Conforme avanza la degradación del suelo la inversión en el mantenimiento del pastizal es mayor. La degradación de los pastizales sólo se resuelve temporalmente con su abandono y con la apertura de nuevas tierras para pastos⁽¹³⁾.

INTRODUCTION

The State of Yucatan, Mexico, contains approximately 1.5 million hectares of disturbed land surface. These are primarily covered with secondary vegetation in different stages of recovery, including plant species with good forage potential^(1,2,3). These species are the expression of the intensive management that the forests have had by the Mayan culture^(4,5).

Soils on the Yucatan Peninsula are dominated by the Leptosol, Cambisol and Luvisol groups. Over 140 forage species grow in these soils, providing a promising scenario for design of agroforestry systems^(6,7). Proper management of vegetation succession and the adequate use of forage plants require study of the behavior of different plant species in relation to soil groups. The physical and chemical characteristics of soils (e.g. pH, organic matter, nutrient availability, texture, fine earth content, depth, compactness, stoniness and rockiness, etc.) make them the main determining factor of vegetation type and distribution in ecosystems⁽⁸⁾.

The expansion of extensive livestock production systems the primary cause of deforestation in that it has led to the transformation of forests into artificial grasslands⁽⁷⁾. Maintenance of pastures over long time periods can lead to significant changes in soil physical structure, such as compacting and loss of fertility, among others^(9,10). Immense amounts of work and financial resources are used to stop or reverse this process through fertilization and irrigation⁽¹¹⁾. Nitrogenated fertilization effectively increases forage production⁽¹²⁾, but involves high costs and does not resolve the problem of seasonality. Irrigation can mitigate seasonality, but is not always available and can be costly. As soil degradation advances, pasture maintenance costs increase, and the only way to temporarily slow or reverse this dynamic is by opening new pastures and leaving degraded ones fallow⁽¹³⁾.

Soils are highly variable in Yucatan, with as many as five soil units in areas of < 1 ha, meaning plant distribution and vegetal growth vary in response⁽¹⁴⁾. Efficient use of soils under these circumstances requires soil mapping to the parcel level^(15,16,17).

En Yucatán, a nivel parcela, es posible encontrar hasta cinco unidades de suelo en superficies menores a 1 ha; para hacer un uso eficiente del suelo, es obligada la elaboración de mapas parcelarios^(14,15,16), ya que la variabilidad espacial de los suelos, determina la distribución de las plantas y el crecimiento vegetal⁽¹⁷⁾.

Los sistemas silvopastoriles (SSP), involucran plantas arbóreas y arbustivas que interactúan con pastos y animales⁽¹⁸⁾, se obtienen beneficios diversos: disminución de los costos de establecimiento, incremento de la productividad a largo plazo; se atenúan los efectos adversos del estrés climático sobre los animales y se obtienen diversos servicios ambientales^(19,20).

Entre las diversas opciones para reducir el deterioro ambiental producido por el auge expansionista de la ganadería extensiva en el trópico mexicano, está la implementación de prácticas de tipo agroforestal (e. g. silvopastoreo), que inclusive pudieran mejorar el comportamiento animal (ganancia de peso, producción de leche) sin tener que depender de insumos externos⁽²¹⁾, principalmente en la época seca que es la más crítica, ya que no hay forraje, no hay agua, el calor es intenso y los animales pierden peso. Por esta razón, vale la pena diseñar SSP, basados en la vegetación secundaria, que resultan ser más económicos para su establecimiento, ofrecen diversos servicios ambientales y pueden coexistir con la ganadería tradicional de baja inversión^(22,23), aunque para promoverlos se requiere mayor conocimiento técnico.

El presente trabajo tuvo el objetivo de caracterizar y evaluar la producción de forraje de especies arbóreas en tres suelos dominantes durante la época seca en un SSP establecido con base en la vegetación secundaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El presente trabajo se realizó en el rancho "Hobonil", el cual pertenece al gobierno del estado y se encuentra administrado por la Universidad Autónoma de Yucatán. Está ubicado en el municipio

Agroforestry practices such as silvopastoral systems (SPS) are a promising method for reducing the environmental deterioration caused by the growth of extensive livestock production systems in tropical Mexico. These systems involve interaction between tree, bush and grass species and the cultured animal⁽¹⁸⁾, and produce many benefits: lower establishment costs; increased long-term productivity; reduced climate stress on animals; as well as environmental services^(19,20). Use of SPS can improve animal performance (e.g. weight gain, milk production) without the need for external inputs, particularly under dry season conditions (i.e. low forage, low water, intense heat and animal weight loss)⁽²¹⁾. Silvopastoral systems designed using secondary vegetation can coexist within traditional, of low-investment extensive livestock production systems^(22,23), but greater technical understanding is needed to effectively promote their use. The present study aim was to characterize and evaluate the forage production of tree and bush species in three dominant soils during the dry season in a secondary vegetation SPS.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The study was done at Hobonil Ranch, Tzucacab Municipality, Yucatan, Mexico (19°58'00'' and 20°01'18'' lat; 89°05'27'' and 88° 50' 00'' long), which is administered by the Autonomous University of Yucatan for the Yucatan State Government. Site vegetation is semi-deciduous tropical forest⁽²⁴⁾. The 24-wk study period spanned from November 2005 to May 2006, encompassing the regional dry season. The study area consisted of 12 ha containing a SPS established in 20-yr old secondary vegetation used previously as a ranch. Canopy height is approximately 10 m and maximum tree diameter at breast height (DBH) is 18 cm. The SPS was established by selective cutting of plants with forage potential, based on traditional knowledge and plant lists⁽⁷⁾, and clearing of thorny species not eaten by cattle. No trees were cut, no vegetation was burned and no chemical weed control applied. Plants of < 10 cm DBH were cut to a height of 1 m above soil surface to stimulate sprouting that would

de Tzucacab, Yucatán, México, entre los paralelos 19° 58' 00'' y 20° 01' 18'' y los meridianos 89° 05' 27'' y 88° 50' 00''. La vegetación del lugar, es de selva mediana subcaducifolia⁽²⁴⁾. Este trabajo se realizó en la época de sequía; la fase de campo se desarrolló durante 24 semanas, iniciando en noviembre del 2005 y finalizando en mayo del 2006. El área de estudio de 12 ha es representativa de un SSP establecido con base en una vegetación de 20 años de desarrollo que había sido utilizada como potrero, es por esto que la actual vegetación presenta una altura de dosel de 10 m y con árboles que no rebasan los 18 cm de diámetro a la altura de pecho (DAP). Para el establecimiento del SSP no se realizó derribe de árboles, ni tampoco quemas o control químico de malezas. Se hicieron podas selectivas de las plantas con potencial forrajero considerando el conocimiento tradicional y cotejando con los listados reportados⁽⁷⁾, y se eliminaron las especies espinosas no consumibles por el ganado. Las plantas con DAP < 10 cm se podaron a una altura de 1 m con el fin de estimular el rebrote que serviría de forraje. Los árboles de DAP > 10 se dejaron para generar sombra; sin embargo, en algunos casos los animales pudieron obtener forraje de las plantas con DAP > 10 cm. Los suelos predominantes en el área de estudio son el Cambisol epiléptico (café) (CMel), que representa el 24 %, el Cambisol endo-esquelético (café-rojizo) (CMnsk), que representa el 21.3 %, y el Luvisol ródico (rojos) (LVro) representando el 28.4 %, mientras el otro 26.3 % de la superficie la forman los suelos Leptosol molico y Leptosol epiesquelético^(14,25). Siendo los tres primeros tipos los presentes en el sitio experimental, y cuyas características generales se describen en el Cuadro 1.

function as forage, while trees > 10 cm DBH were not cut to provide shade for the animals; trees > 10 cm DBH could also provide some forage.

Dominant soils in the area are 24 % Epileptic Cambisol (brown color) (CMel), 21.3 % Endoskeletal Cambisol (red-brown color) (CMnsk), and 28.4 % Rodic Luvisol (red color) (LVro) (Table 1); the remaining 26.3 % consists of Mollic Leptosol and Episkeletic Leptosol^(15,25).

Forage species by soil unit

Characterization of the tree and bush strata within the SPS was done based on a stratified sample. Observations were taken per soil unit by placing three, 10 x 10 m (100 m²) quadrants in each of the three main soils⁽¹⁵⁾. Forage plants > 1.0 cm DBH were identified and inventoried to estimate number of species, number of individuals per species, and the basal vegetation area for trees and bushes. These data were analyzed with descriptive statistics (Excel, Microsoft®, Inc.) to calculate the number of individuals per species and forage species basal area in each soil unit, with particular emphasis on species within this stratum known to be used as forage in the Yucatan region⁽⁷⁾.

Forage production

Before the standardization cut to 1 m, a floristic inventory of all plants < 5.0 cm DBH inside the quadrants was done to enable later quantification of forage production. This size was chosen because the animals could potentially obtain forage directly from these plants due to their stem flexibility. Six weeks after the cut, three tree and bush species had emitted

Cuadro 1. Características de los suelos del área de estudio

Table 1. Principal soils of the study area and their characteristics

Soil type	Carbon (g kg ⁻¹)	pH	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	FC (%)	PWP (%)	Assimilable water (%)
Endo-skeletal cambisol	46.98 ± 8.13	7.6	6	28	66	36.65	34.05	2.60
Epileptic cambisol	58.36 ± 9.53	7.6	9	38	53	37.6	34.90	2.70
Rodic luvisol	13.19 ± 1.22	7.0	5	27	68	33.00	28.35	4.65

FC = field capacity; PWP = permanent wilting point.

Caracterización de las especies forrajeras por unidad edáfica

La caracterización del estrato arbóreo y arbustivo del SSP se hizo con base en un muestreo estratificado, tomando las observaciones por unidad edáfica, para lo cual, se trazaron tres cuadrantes de 10 X 10 m en cada uno de los tres principales tipos de suelo dominantes en el SSP⁽¹⁴⁾; en estos cuadrantes se hicieron las siguientes observaciones: identificación e inventario de plantas forrajeras que tuvieron un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a 1.0 cm, con lo cual se estimó la cantidad de individuos, número de especies y área basal de la vegetación arbórea y arbustiva. Estos datos se analizaron con estadística descriptiva (hojas dinámicas de Excel), determinando el número de individuos de las especies y el área basal de las especies forrajeras en cada unidad de suelo, haciendo especial énfasis en las plantas de este estrato⁽⁷⁾, que tienen algún uso forrajero para la península de Yucatán.

Producción de forraje

La producción de forraje se cuantificó en los mismos cuadrantes donde se hizo el inventario florístico, previo corte de estandarización a 1 m de altura sobre el nivel del suelo, a todas las plantas existentes en cada cuadrante que tuvieron un DAP < 5.0 cm. Seis semanas después del corte de estandarización, se seleccionaron las especies arbóreas y arbustivas forrajeras, que pudieron emitir rebrotes, las cuales fueron: *L. leucocephala*, *P. piscipula* y *B. divaricata*; todos los individuos de estas especies fueron marcados con la finalidad de poder llevar un registro individual de cada planta. Los muestreos de producción de forraje (materia seca MS) se realizaron con una frecuencia de corte total de rebrotes cada 8 semanas (56 días) para un total de tres cortes durante la época seca, registrando número de rebrotes con tallos menores a 6 mm de diámetro, peso por planta y peso del total del follaje en fresco y seco.

Calidad forrajera y nutrimentos producidos

Ya que en este estudio se quería conocer el potencial forrajero del SSP, fue necesario separar las plantas

sprouts: *L. leucocephala*, *P. piscipula* and *B. divaricata*. All individuals of these species were marked for tracking. Samples for quantifying forage production (expressed as dry matter, DM) were taken by cutting of all sprouts every eight weeks (56 d), for a total of three cuts during the experimental period. Data were recorded for the number of sprouts with stems < 6 mm diameter, plant weight, and total forage weight (fresh and dry).

Forage quality and nutrient production

Collected vegetal material was dried at 60 °C for 72 h, ground in a blade mill (Thomas) and sieved through 1 mm mesh. Crude protein (CP)⁽²⁶⁾ and neutral detergent fiber (NDF)⁽²⁷⁾ contents were determined. Using these data, the forage quality index (QI) was calculated⁽²⁸⁾:

$$QI = \%CP (100-NDF)$$

Nutrient production (NP) was also calculated⁽²⁹⁾:

$$NP = DM Prod \times (QI)$$

Forage production and quality were evaluated using a random block design with four replicates. The block criterion was dominant soil unit in the study area and response criteria were QI and NP. A univariate, fixed-effect analysis of covariance (ANCOVA) (95% confidence level) was applied using the Statgraphics Plus ver. 4.1 program⁽³⁰⁾; the covariable was number of plants in each soil unit. Comparison of the means was done with a Tukey test.

Multicriteria analysis

A multicriteria analysis (MA) integrating the results of the measured variables was applied as an overall analysis of plant function in the SPS⁽³¹⁾. This type of analysis provided a general perspective of all three forage species' performance per soil unit by integrating the results for all the variables. Quantified variables were converted to indicators: number of individuals = "forage presence"; nutrient content = "forage quality"; DM yield/plant = "yield"; sprout quantity = "cut response"; and basal area = "dominance/permanence". The MA was done by first normalizing the parameters, using 100% as the highest value for each variable, and then assigning

Cuadro 2. Número total de plantas por hectárea de interés forrajero en los distintos suelos

Table 2. Total potential forage plants per hectare by species and soil unit

Species	Form	Epileptic Cambisol (CMlep)	Endo-skeletal Cambisol (CMnsk)	Rodic Luvisol (LVro)	Total
<i>Bahuinia divaricata</i>	Tree	293	482	783	1558
<i>Piscidia piscipula</i>	Tree	239	149	170	495
<i>Acacia pennatula</i>	Tree	174	114	57	299
<i>Bunchosia glandulosa</i>	Bush	141	213	114	431
<i>Leucaena leucocephala</i>	Tree	87	28	28	120
<i>Bahuinia unguolata</i>	Bush	65	0	28	76
<i>Bursera simaruba</i>	Tree	54	138	28	206
<i>Acacia gaumeri</i>	Tree	33	0	71	95
<i>Lonchocarpus rugosus</i>	Tree	0	64	71	135
Total		1085	1061	1144	3005

que tienen un DAP < 5 cm; por considerar que la flexibilidad de los tallos de esta vegetación serían de las especies que potencialmente proporcionarían el follaje a los animales, pues lo podrían obtener de forma directa.

El material vegetal se secó en una estufa a 60 °C durante 72 h; después fueron molidas con un molino de cuchillas marca Thomas y tamizadas a malla 1 mm. Los análisis realizados al material vegetal fueron proteína cruda (PC) por el método de Kjeldahl⁽²⁶⁾ y fibra neutro detergente (FND)⁽²⁷⁾.

Con los resultados se procedió a estimar el índice de calidad (IC), con base en la siguiente fórmula⁽²⁸⁾:

$$IC = \%PC (100 - FND)$$

También se calculó la producción de nutrimentos:

$$PN = \text{Prod MS} \times (IC)$$

Para evaluar la producción y la calidad del follaje se utilizó un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones, considerando como criterio de bloque los tipos de suelo dominantes en el área de estudio; los criterios de respuesta fueron IC y PN. El análisis de la información se realizó aplicando un análisis de covarianza (ANCOVA), univariado de efectos fijos a un nivel de confianza del 95%, con *Statgraphics Plus* versión 4.1⁽³⁰⁾ siendo la covariable el número de

a weighted value to each indicator. The results are illustrated in a radial graphic in which each of the five indicators is represented by a separate axis and the relative values of each indicator by species are joined to form geometric shapes, allowing for a simple, graphic and general comparison of each species', and the SPS's, benefits and limitations⁽³²⁾.

RESULTS

Forage species in the tree and bush stratum

Forty-two species were identified within the < 5.0 cm diameter category, although only nine of these were potential forage sources within the tree and bush stratum based on the previously described criteria. The overall highest number of individuals was observed in the CMlep, and the highest number of individuals of the nine forage species occurred in the LVro (Table 2). Of the 3,005 forage species individuals recorded in all three soil units, *B. divaricata* accounted for 38.2 %. This species also had the highest number of individuals of < 5.0 cm DBH in all three soil units, with its largest population in the LVro. Although it is native to the region, *L. leucocephala* had the lowest number of individuals; indeed, in the LVro no individuals < 5.0 cm DBH were counted for this species (Table 3). Adjusted for the total area of the sampled soil units, the nine forage species covered a total basal area of 4.79 m². *Piscidia piscipula* had the highest

plantas de cada unidad de suelos, la comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey.

Análisis multicriterio

Para realizar un análisis global sobre el funcionamiento de las plantas en el SSP se aplicó

Cuadro 3. Total de plantas forrajeras con DAP <0.5 cm de cada suelo

Table 3. Forage plants with <0.5 cm DBH by species and soil unit

Species	Epileptic cambisol (CMlep)	Endo-skeletal cambisol (CMnsk)	Rodic luvisol (LVro)	Total
<i>Leucaena leucocephala</i>	40	21	0	61
<i>Piscidia piscipula</i>	152	64	85	301
<i>Bauhinia divaricata</i>	216	355	577	1148
Total	408	440	662	1510

basal coverage (1.8 m²), followed by *A. pennatula* (1.09 m²), while *B. unguolata* had the lowest coverage.

Forage production

Of the nine tree and bush species recorded in the SPS after the standardization cut at the beginning of the dry season, only *L. leucocephala*, *P. piscipula* and *B. divaricata* sprouted. Among these three species, analysis of cumulative DM production per species showed *B. divaricata* to produce the largest quantity of forage (29.50 kg/ha), followed by *P. piscipula* (14.49 kg/ha) and *L. leucocephal* (7.16 kg/ha). Total cumulative dry matter production by soil unit was highest in the CMel (22.24 kg/ha), where both *L. leucocephala* and *P. piscipula* exhibited the best response. For a single species within a single unit, *B. divaricata* in the LVro had the highest production (13.76 kg/ha) (Table 4).

The average number of sprouts per plant in the soil units was highest in the CMlep, and the highest

Cuadro 4. Producción de materia seca (DM) y número de rebrotes por suelo en la época seca

Table 4. Dry matter (DM) production and number of sprouts during the dry season by species and soil unit

Species/soil (surface)	Epileptic Cambisol	Endo-skeletal Cambisol	Rodic Luvisol	Total/species
Total cumulative DM production by species during 174 days (kg DM/ha)				
<i>Leucaena leucocephala</i>	6.28 a	0.91 b	0.0 c	7.16 x
<i>Piscidia piscipula</i>	10.52 a	3.42 b	3.54 b	14.49 xy
<i>Bauhinia divaricata</i>	5.44 b	10.28 a	13.76 a	29.50 y
Total /Edaphic unit	22.24 a	14.61 b	17.30 b	54.15
Total cumulative DM production by plant (g DM)				
<i>Leucaena leucocephala</i>	115.6 a	31.6 b	0.0 c	147.19
<i>Piscidia piscipula</i>	51.0 a	39.3 a	30.7 a	121.02
<i>Bauhinia divaricata</i>	18.6 a	21.4 a	17.6 a	57.51
Total /Soil unit	185.14 a	92.29 b	48.29 b	325.72
Average number of sprouts per plant				
<i>Leucaena leucocephala</i>	8.4	5.5	0.0	14
<i>Piscidia piscipula</i>	7.1	5.7	1.6	14
<i>Bauhinia divaricata</i>	6.7	7.2	6.2	20
Average	7.4 a	6.1 a	2.6 b	
Total /Soil unit	22	18	8	48

a,b Different letter suffixes in the same row indicate significant difference (P<0.05).

x,y Different letter suffixes in the "Total/species" column indicate significant difference (P<0.05).

Cuadro 5. Contenido de nutrimentos del follaje de especies arbóreas y arbustivas

Table 5. Foliar nutrient content of three and forage species

Species	DM	CP (%)	NDF (%)	QI	NP
<i>Leucaena leucocephala</i>	5.28	23.78 a	42.34 a	0.14 a	0.72 b
<i>Piscidia piscipula</i>	12.89	15.70 b	49.51 a	0.08 b	1.02 ab
<i>Bauhinia divaricata</i>	21.74	16.97 b	49.25 a	0.09 b	1.87 a

DM = dry matter; CP = crude protein; NDF = neutral detergent fiber; QI = Quality Index; NP = Nutrient production. a,b Different letter suffixes in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$).

un análisis multicriterio (AM), integrando los resultados de las variables medidas⁽³¹⁾. Las variables cuantificadas se convirtieron en indicadores, de la siguiente forma: número de Individuos corresponde al indicador “presencia forrajera”; contenido de nutrimentos corresponde a “calidad forrajera”; rendimiento de MS/planta corresponde a “rendimiento”; cantidad de rebrotes corresponde a “respuesta al corte”; y área basal corresponde a “dominancia/permanencia”. El AM se realizó mediante la normalización de los parámetros medidos, tomando como 100 % el valor más alto de cada variable y asignándole un valor ponderado a cada indicador. El AM permite tener una visión integral sobre el comportamiento de las tres especies evaluadas por unidad de suelo al integrar los resultados de todas las variables (o indicadores) medidas en un valor normalizado. Al igual que Masera *et al*⁽³²⁾ utilizamos la gráfica radial, en la que cada uno de los indicadores se representa en un eje por separado; posteriormente los valores relativos de cada indicador se unen formando figuras geométricas, permitiendo comparar de manera sencilla, gráfica e integral las bondades y limitaciones de cada especie o sistema estudiado.

RESULTADOS

Caracterización de las especies forrajeras del estrato arbóreo y arbustivo

Se identificaron 42 especies diferentes en la categoría diamétrica < 5.0 cm. La mayor cantidad de individuos se registró en el CMlep (Cuadro 2). Sólo nueve de estas especies fueron consideradas

forage production per plant was in *L. leucocephala* in the CMlep. The three evaluated forage species had significantly higher sprout numbers per plant in the Cambisols than in the Luvisol (Table 4).

Forage quality and nutrient production

Analysis of nutrient contents in the three forage species during the dry season showed *L. leucocephala* to have the highest CP content (Table 5), whereas no differences were observed between species in terms of NDF. *Leucaena leucocephala* also had the highest QI, but *B. divaricata* produced the greatest quantity of nutrients: 83 % more than *P. piscipula* and 159 % more than *L. leucocephala*.

Multicriteria analysis

The highest multicriteria index values were for *B. divaricata* in the CMnsk and LVro soil units (Table 6). When represented graphically (Figure 1), *B. divaricata* clearly had the best cut response, yield and forage presence (i.e. number of sprouts). Nonetheless, *P. piscipula* was the dominant species and had the highest probability of surviving (dominance/permanence) in the SPS due to its greater basal area, while *L. leucocephala* had the highest QI value.

DISCUSSION

Of the twenty plant families recorded in the three soil units, Leguminosae accounted for 34.1 % of the species, a frequency double that in previous reports⁽²⁸⁾. The nine forage species identified here are listed among the forage trees and bushes of the Yucatan Peninsula⁽⁷⁾.

de interés forrajero en el estrato arbóreo y arbustivo) siguiendo los criterios descritos en la sección anterior. El mayor número de individuos de éstas se encontró en el LVro; la especie *B. divaricata* representó el 38.2 % de los 3,005 individuos de todas las especies de uso forrajero del SSP en los tres suelos evaluados. *B. divaricata* fue la especie que también reportó el mayor número de individuos con DAP < 5.0 cm en los tres tipos de suelo, teniendo en el LVro su máxima población dentro del SSP. La especie *L. leucocephala*, a pesar de ser originaria de la región, registró la población de menor número y en el LVro no se contabilizaron individuos con DAP < 5.0 cm (Cuadro 3).

Las nueve especies arbóreas y arbustivas ajustadas a la superficie total de las tres unidades de suelo del SSP cubren un área basal total de 4.79 m²; siendo *P. piscipula* la especie que mayor área basal ocupa con 1.8 m², seguido por *A. pennatula* con 1.09 m², mientras que la especie de menor área basal es *B. unglata*.

Producción de forraje

Respecto a la producción forrajera, es importante señalar que de las nueve especies arbóreas y arbustivas encontradas en el SSP después del corte de estandarización al inicio de la época de sequía, únicamente rebrotaron: *L. leucocephala*, *P. piscipula* y *B. divaricata*.

Al analizar la producción de MS acumulada por especie en la época de sequía, se encontró que *B. divaricata* es la especie que obtuvo mayor cantidad de forraje (29.50 kg/ha), seguida por *P. piscipula* (14.49 kg/ha); mientras que *L. leucocephala* produjo la menor cantidad de forraje (7.16 kg/ha). Al analizar la producción total de materia seca acumulada por unidad edáfica, se registró que el CMel fue el suelo con mayor producción total de materia seca (22.24 kg/ha). Fue en este suelo en donde mejor respondieron las especies *L. leucocephala* y *P. piscipula*. Sin embargo, la mayor productividad registrada de manera asilada la obtuvo significativamente *B. divaricata* en el LVro (13.76 kg/ha) (Cuadro 4).

Con respecto a la cantidad promedio de rebrotes por planta de las especies evaluadas por unidad de

Cuadro 6. Evaluación multicriterio de las especies forrajeras en los suelos

Table 6. Multicriteria analysis of the three studied forage species by soil unit

Species/Soils	Epileptic cambisol	Endo-skeletal cambisol	Rodic luvisol
<i>Leucaena leucocephala</i>	78.56	62.66	45.00
<i>Piscidia piscipula</i>	69.92	47.95	36.20
<i>Bauhinia divaricata</i>	76.62	85.46	86.00

Twenty years after the area ceased to function as a pasture, the approximate average age of vegetation in the SPS ranges from 20 to 25 yr. However, 90 % of the plants had a DBH < 5 cm, which contradicts reports that bush vegetation occurs primarily in younger successions and disappears over time⁽³³⁾.

Distribution and productivity of the studied forages differed between the soil units. Along with diameter category data, these differences are vital for estimating each species' forage potential and planning better management practices. *B. divaricata* had the largest number of individuals, with the highest density in the LVro, and was followed by *P. piscipula*, which was distributed similarly in all three units. These two potential forage species are clearly better adapted to the soil conditions in the LVro, the soil which retains the least amount of moisture during the dry season.

Ecological studies include basal area as a vegetal biomass estimator because it can be recorded precisely. A vegetal community's total basal area is the sum of the transversal area that each stem covers within a given area⁽³³⁾. In the present study, the use of basal area aided in determining dominance and opportunity of permanence within the SPS. A high basal area indicates that a species' population contains developed individuals which provide foliage and probably enough seed production to ensure that it remains within a SPS. This could be interpreted to indicate that species which do not sprout in the dry season, but have a high basal area, have a greater possibility of remaining in a SPS. However, these species may not necessarily predominate in a SPS since most plants are consumed by cattle, even those of thorny species.

suelo, se observa que el CMlep es el suelo que presenta el mayor valor. En este mismo sentido, la producción más alta de forraje por planta la logró el árbol *L. leucocephala* en el CMlep. Las tres especies evaluadas presentaron significativamente la mayor cantidad de rebrotes por planta en los CM que en el LV (Cuadro 4).

Calidad forrajera y nutrimentos producidos

Al analizar el contenido de nutrimentos de las plantas forrajeras del SSP durante la época de sequía, se observó que *L. leucocephala* presentó significativamente mayor contenido de proteína cruda (PC) que las otras dos especies forrajeras (Cuadro 5). En cuanto al contenido de fibra neutro detergente (FND), no se registraron diferencias significativas; *L. leucocephala* presentó el valor más alto de índice de calidad de las tres especies; la especie *B. divaricata* fue la que mayor cantidad de nutrimentos produjo: produciendo 83 % más que *P. piscipula* y 159 % más que *L. leucocephala*.

Análisis multicriterio

De las especies forrajeras estudiadas, los valores más altos del índice multicriterio los obtuvo la especie *B. divaricata*, en CMnsk y LVro (Cuadro 6).

Los valores promedio en los tres tipos de suelos obtenidos por cada especie forrajera se integran de manera gráfica en la Figura 1, en ella se puede observar que *B. divaricata* presenta los valores más altos, teniendo la mejor respuesta al corte, y el mayor rendimiento y presencia forrajera (o cantidad de rebrotes) que las otras especies. Sin embargo *P. piscipula*, es la especie dominante y con mayores posibilidades de persistir dentro del SSP debido a su mayor área basal. Mientras que *L. leucocephala*, es la especie que representa el mayor índice de calidad de las tres.

DISCUSIÓN

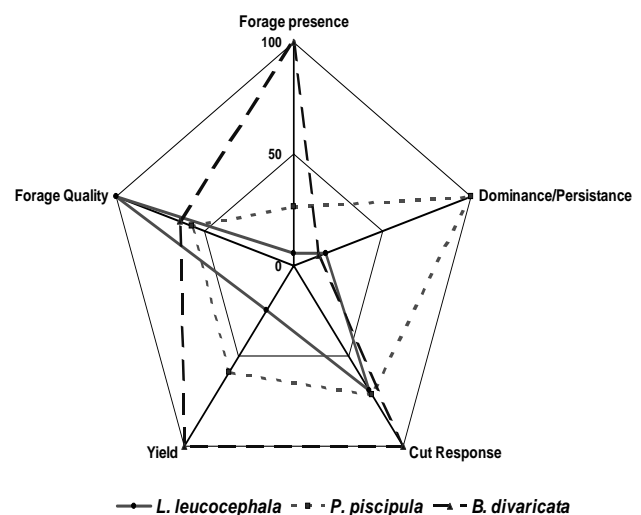
De las 20 familias encontradas en las tres unidades de suelo del SSP, la familia Leguminosae, resultó ser la de mayor representación con 34.1 % de las especies, siendo dos veces mayor a lo observado

Extensive information exists on SPS which combine and associate trees, bushes, grasses and other herbaceous plants for herbivorous livestock forage⁽³⁴⁾, although this is not the case for the Yucatan region. Soils in this region are highly heterogeneous⁽²⁵⁾ and the forage production capacity of the secondary vegetation tree and bush stratum in different soil units is unknown. Local producers are the most knowledgeable about local forage species for ruminants, but this knowledge base is currently underexploited^(33,34). The research that does exist on secondary vegetation SPS in the region does not include data on these species' forage production under different soil conditions^(18,33,35).

The soil heterogeneity of the studied SPS clearly influences floristic diversity and forage production. As expected, dry matter production was highest in the CMlep, probably because this soil unit contains a larger amount of organic carbon and has greater field capacity for moisture retention, providing nutrients and basic moisture conditions to plants during the dry season⁽⁸⁾. However, gramineae grow better in soils with low rockiness and stoniness and high fine earth contents (e.g. LVro), an important point to consider when designing local SPS.

Figura 1. Propiedades indicadoras de las tres especies evaluadas en el sistema silvo pastoril

Figure 1. Indicators for the three evaluated forage species in the studied silvopastoral system



por Sosa *et al*⁽²⁸⁾. Las nueve especies forrajeras encontradas en este estudio se encuentran en el listado florístico de árboles y arbustos forrajeros de la península de Yucatán⁽⁷⁾.

Al haber dejado descansar el área de estudio por veinte años después de haber sido un potrero, la edad promedio estimada de la vegetación que compone el SSP estudiado oscila entre los 20 y 25 años y está conformada con un 90 % de plantas que tienen un DAP < 5 cm, contrario a lo señalado⁽³³⁾, de que la vegetación arbustiva está presente en las sucesiones de menor edad y con el tiempo este estrato desaparece⁽³³⁾.

Por otro lado, es importante mencionar que las plantas forrajeras estudiadas también tienen una distribución y productividad diferenciadas con respecto a las unidades edáficas del SSP, lo cual junto con la categoría diamétrica son parámetros importantes tanto para la estimación del potencial de producción forrajera de cada una de las especies, como para planear un mejor manejo a futuro. La especie *B. divaricata* cuenta con la mayor cantidad de individuos destacándose su mayor presencia en el LVro, mientras que *P. piscipula* es la segunda especie más abundante, distribuida sin grandes diferencias en el número de individuos en las tres unidades de suelo. Lo anterior da una idea acerca de las especies forrajeras mejor adaptadas a las condiciones edáficas para ser utilizadas en pastoreo en el LVro, que resulta ser el suelo que menor humedad retiene durante la época de sequía.

En los estudios ecológicos se ha empleado el área basal como una medida de estimación de la biomasa vegetal, en razón de ser un parámetro cuyo registro es bastante preciso. El área basal total de una comunidad vegetal es la sumatoria del área transversal que cubre cada tallo de una superficie dada⁽³³⁾. En este estudio el área basal permitió determinar la dominancia y oportunidad de permanencia dentro del SSP, ya que al cubrir una mayor área basal las especies indican que existen individuos desarrollados que proporcionan además de follaje, suficiente cantidad de semillas para que las especies persistan dentro del SSP, de manera que se podría pensar que las especies que no

Variability in forage quality over time is a serious problem in extensive livestock production based on pastures because it affects animal productive and reproductive parameters⁽³⁶⁾. In the present study, *L. leucocephala* had the highest CP content, which may have led to higher previous grazing pressure (i.e. use/intake) on this species in the study area. The CP level observed here for *L. leucocephala* is slightly lower than the 30.4 % reported for this species, but those for *B. divaricata* and *P. piscipula* are slightly higher than levels reported for these species (11.5 and 13.7 %, respectively)⁽³⁵⁾. No differences between species was observed for NDF, but all levels were lower than previously reported levels (67.8 % for *L. leucocephala*; 56.8 % for *P. piscipula*; 48.0 % for *B. divaricata*), probably due to changes in response to dry season hydric stress.

Evaluation of the forage potential of plant species that spontaneously grow in SPS is vital to correctly estimating carrying capacity and identifying sustainable management practices for grazing areas. Proper management requires research during an entire productive cycle for at least ten years. Further research in the studied SPS needs to encompass identification of carrying capacity for this type of SPS; determination of the most adequate cattle breed given production goals and forage species quality; soil unit identification; and development of management practices that can improve forage production without undermining natural resources. Over the short-term, research is needed quantifying sprouting during all three regional seasons (dry, northwind and rainy) taking into account soil units and those species with forage potential. All research towards sustainable management of SPS in this region should include indicators providing information in forage species quality and quantity, soil quality, environmental services and animal production and health.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

The two most important findings in the present study are that the wild species which produce forage in the study area during the dry season are *L. leucocephala*, *B. divaricata* and *P. piscipula*, and

rebrotaron en la época seca, pero que tienen elevada área basal, tendrán mayores posibilidades de permanecer en el SSP; sin embargo, no necesariamente serán las que predominen en el SSP a largo plazo, ya que la mayoría de las plántulas son consumidas por el ganado, incluso las espinosas.

Aunque a nivel internacional existe una gran cantidad de información sobre el uso de los SSP, que combinan y asocian árboles y arbustos junto con los pastos y otras plantas herbáceas para el consumo del ganado herbívoro⁽³⁴⁾, no es el caso de la región de este estudio, donde existe una elevada heterogeneidad en los suelos⁽²⁵⁾, y donde se desconoce la capacidad de producción forrajera del estrato arbustivo y arbóreo de la vegetación secundaria en las diferentes unidades edáficas. Son los productores de la región los que conocen más sobre la alimentación de rumiantes pero el aprovechamiento de ese conocimiento es todavía muy limitado^(33,34). Investigaciones realizadas en SSP de la región sobre la vegetación secundaria, no llegan a medir la cantidad de forraje que producen estas especies forrajeras considerando las particularidades edáficas^(18,33,35).

Los resultados muestran que el SSP se encuentra enclavado dentro de una heterogeneidad edáfica que influye significativamente en la diversidad florística y la producción de forraje del mismo. La producción de materia seca significativamente mayor se obtuvo en los suelos CMlep, resultado esperado, ya que este suelo tiene la mayor cantidad de carbono orgánico y retención de humedad a capacidad de campo, lo cual permite que las plantas obtengan sus nutrientes y condiciones de humedad básicas en condiciones de sequía⁽⁸⁾; sin embargo, las gramíneas se desarrollan mejor sobre suelos con escasa cantidad de piedras y mayor cantidad de tierra fina como es el caso del LVro, situación que debe ser bien entendida en el diseño de los SSP locales.

La ganadería extensiva, sustentada en pastos, afronta serios problemas debido a la variabilidad de calidad de los forrajes a través del año, pues repercute en los parámetros productivos y reproductivos de los animales⁽³⁶⁾. En este sentido, *L. leucocephala*

that during this season these species sprout differentially and depending on soil diversity. When establishing and developing silvopastoral systems in the study region, both soil unit and plant species must be considered in the design to keep costs low and ensure that forage production is congruous with its tropical karstic environment. Further study is needed on the physiological mechanisms used by the three studied forage species to produce sprouts in the dry season and how soil units affects their growth. This will aid in increasing forage production since the type of silvopastoral system studied here is complementary to local, traditional forage production systems.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was partially funded by the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología through a grant to GZB and project YUC-2003-CO2-054, and by the Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza through the project "Reconversión de Henequenes y pastizales abandonados a unidades silvopastoriles" (proyecto B-1-99/14). The comments of anonymous reviewers helped to improve this manuscript.

End of english version

presenta el mayor contenido de proteína cruda (PC), probablemente porque en años pasados haya sido la más presionada por el pastoreo (utilización/consumo) dentro del SSP.

No se muestran diferencias significativas en el contenido de la fibra neutro detergente (FND). Los datos aquí reportados en cuanto a PC son ligeramente menores a los obtenidos en otros estudios⁽³⁵⁾, en donde se obtuvieron 30.4, 13.7 y 11.5 % de PC para *L. leucocephala*, *B. divaricata* y *P. piscipula*, respectivamente. En el caso de los resultados en FND, éstos son también mayores en otros estudios como 67.8 % para la *L. leucocephala*, 56.8 % para *P. piscipula* y 48.0 para *B. divaricata*,

tal vez debido a los cambios provocados por el estrés hídrico de la estación seca.

Evaluar el potencial forrajero de especies que se desarrollan de manera espontánea en los SSP, es crucial para poder estimar la capacidad de carga y el manejo sustentable de las áreas de pastoreo. Por lo mismo, este tipo de investigaciones deberían hacerse para todo ciclo productivo y por lo menos durante diez años. Los siguientes estudios deberían investigar: la capacidad de carga adecuada en este tipo de SSP, el tipo de ganado más conveniente considerando la productividad y calidad de las especies forrajeras, los tipos de suelos y las prácticas de manejo que se pueden incluir para mejorar la producción forrajera y no deteriorar los recursos naturales. Así mismo, se requeriría llevar al cabo un estudio donde se cuantifique el rebrote en las tres estaciones del año (secas, lluvias y nortes) teniendo en cuenta los diferentes tipos de suelo y las especies con potencial forrajero.

Cuando se busca un manejo sustentable en los SSP de estas regiones, es indispensable incluir indicadores que den información sobre la calidad y cantidad especies forrajeras, la calidad del suelo, los servicios ambientales, y la producción y salud animal.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

En este estudio son dos los aspectos más importantes; 1) las plantas silvestres que producen forraje durante la época seca son *L. leucocephala*, *B. divaricata* y *P. piscipula*; y 2) las plantas que producen rebrotes durante la época seca lo hacen de manera diferencial y en dependencia con la edafodiversidad. Ambos aspectos, suelos y plantas, deben ser tomados en cuenta en el diseño, establecimiento y desarrollo de SSP. Estos SSP serán de bajo costo de establecimiento y de producción de forraje en armonía con el ambiente de karst tropical imperante en la zona de estudio. Por esta razón, se recomienda enfocar los esfuerzos de investigación a dilucidar los mecanismos fisiológicos por los cuales las plantas estudiadas producen rebrotes durante la época seca, así como los mecanismos por los cuales crecen mejor en un

suelo y no en otro. Esta información será de gran utilidad para el aumento de la producción de forraje, ya que el SSP estudiado es complementario a los sistemas tradicionales locales de producción de forraje.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca proporcionada a GZB y por el financiamiento al proyecto (YUC-2003-CO2-054). Al Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza por el financiamiento del proyecto de "Reconversión de Henequenales y pastizales abandonados a unidades silvopastoriles" (proyecto B-1-99/14). A los revisores anónimos por los comentarios que contribuyeron al mejoramiento de este artículo.

LITERATURA CITADA

1. SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Inventario nacional forestal periódico. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. México. 1994.
2. Flores JS. Uso de los recursos vegetales en la Península de Yucatán. Pasado, presente y futuro. Cuaderno de divulgación No. 30. Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos. Xalapa, Ver. México. 1987.
3. Acosta LE, Flores LJS, Gómez-Pompa A. Uso y manejo de plantas forrajeras para cría de animales de solar en Xocen. Yucatán, México. BIÓTICA. Nueva época. 1993;(1):63-68.
4. Barrera A, Gómez-Pompa A, Vázquez-Yáñez C. El manejo de las selvas por los Mayas: Sus Implicaciones silvícolas y agrícolas. Xalapa, Veracruz, México. BIÓTICA 1977;2(2):47-61.
5. Gómez-Pompa A. On Maya Silviculture. Estudios Mexicanos. University of California, Riverside 1987;3(1):1-17.
6. Reyes M, Jiménez F. Uso y valor nutritivo de árboles y arbustos con potencial forrajero en la región de la sierra. Tabasco, México. Reunión científica tecnológica forestal y agropecuaria. Villahermosa, Tab. 1998:73-80.
7. Flores S, Bautista F. Inventario de plantas forrajeras utilizadas por los Mayas en los paisajes geomorfológicos de la península de Yucatán. En: Bautista B, Palacio G editores. Caracterización y manejo de los suelos de la península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología, México. 2005:209-219.
8. Escamilla BA, Quintal TF, Medina LF, Guzman A, Pérez E, Calvo IL. Relaciones suelo-planta en ecosistemas naturales de la península de Yucatán: comunidades dominadas por palmas.

- En: Bautista F, Palacio G editores Caracterización y manejo de los suelos de la península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología. 2005:159-172.
9. Alegre J, Lara P. Efecto de los animales en pastoreo sobre las propiedades físicas de los suelos en la región tropical húmeda de Perú. *Pasturas Tropicales CIAT*. 1991;13(1):18-23.
 10. Hoyos P, García O, Torres MI. Manejo y utilización de pasturas en suelos ácidos de Colombia. Fascículo 4 de la serie de capacitación en tecnología de producción de pastos. CIAT. 1995:120.
 11. Tzec SF, Uicab, BM, Ciau VM, Cano L, Bautista F. Reconversión de pastizales abandonados a unidades silvopastoriles en el sur de Yucatán. II Reunión Nacional Sobre Sistemas Agro y Silvopastoriles. Villahermosa, Tabasco. 2001:17-23.
 12. Teitzel JK, Gilbert MA, Cowan RT. Sustaining productive pastures in the tropics. Nitrogen fertilized grass pastures. *Tropical Grasslands* 1991;25:111-118.
 13. Ciau M, Bautista F, Parra TV, Brown G. Diversidad de macroinvertebrados del suelo en sistemas de producción de forraje. En: Brown GG, Frago C, Oliveira LJO editores. *Uso da macrofauna edáfica na agricultura do século XXI: a importancia dos engenheiros do solo*. EMBRAPA. Londrina, PR. 2003:87-115.
 14. Uicab BMA. Mapas parcelarios de suelos para la administración agropecuaria de terrenos del sur de Yucatán [tesis licenciatura] Yucatán México: Universidad Autónoma de Yucatán; 2002.
 15. Bautista F, Batllori SE, Ortiz PM, Palacio G, Castillo GM. Interacción del conocimiento actual sobre los paisajes geomorfológicos en la península de Yucatán. En: Bautista F, Palacios G editores. *Caracterización y manejo de suelos en la Península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales*. UACAM-UADY. Campeche, México. 2005:33-58.
 16. Díaz GS, Bautista F, Delgado C, Castillo M. Mapas parcelarios del suelo en zonas de karst reciente. En: Bautista F, Palacios G editores. *Caracterización y manejo de suelos en la Península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales*. UACAM-UADY. Campeche, México. 2005:145-158.
 17. Bautista F, Jiménez OJ, Navarro AJ, Manu R, Lozano R. Microrelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico en Leptosoles Cársticos. *Terra* 2003;(21):1-11.
 18. Zapata BG, Sosa R. Sistemas Silvopastoriles. En: Hagggar J editor. *Manual Agroforestal para la Península de Yucatán*. ICRAF, INIFAP, FUQROOP A.C. 1999;(9):23-28.
 19. Ruiz TE, Febles G. *Leucaena: Una opción para la alimentación bovina en el trópico y subtropico*. EDICA. La Habana, Cuba. 1987.
 20. Hagggar J. *Introducción a la Agroforestería*. En: Hagggar J editor. *Manual Agroforestal para la Península de Yucatán*. ICRAF, INIFAP, FUQROOP A.C. 1999:1-4.
 21. Fair R. *Agroforestería*. Universidad Autónoma de Chapingo. Edo, México, México. 1997.
 22. Rosales MM, Murgueitio RE. *Sistemas silvopastoriles en Colombia*. Memorias de los Simposios de la XXXV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria Yucatán 1999. Mérida, Yucatán, México. 1999:16-34.
 23. Tzec SF. *Establecimiento de un sistema silvopastoril en el sur del estado de Yucatán [tesis licenciatura]*. Yucatán, México: Universidad Autónoma de Yucatán; 2001.
 24. Flores GJS, Espejel CI. *Tipos de vegetación de la Península de Yucatán. Etnoflora yucatanense, Fascículo 3*. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida Yucatán, México. 1994:73-126.
 25. Bautista F, Aguilar Y, Rivas H, Paez R. Los suelos del estado de Yucatán. En: *Importancia del binomio suelo-materia orgánica en el desarrollo sostenible*. Martínez M, Cabañas D editores. Agencia Española de Cooperación Internacional y el Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura de Murcia, España. 2007:13-42.
 26. Association of Official Analytical Chemists AOAC. *Official methods of analysis*. 15th ed. Arlington, VA, USA: Association of official analytical Chemists. 1990.
 27. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fibers, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 1991;(74):35-83.
 28. Sosa RE, Sansores LL, Zapata BG, Ortega RL. Composición botánica y valor nutricional de la dieta de bovinos en área de vegetación secundaria en Quintana Roo. *Téc Pecu Méx* 2000;38(2):105-117.
 29. Torres HM, Garza TR, Perez P, Arroyo RD. Ensayo comparativo de rendimiento de 12 zacates tropicales en clima Am. *Téc Pecu Méx* 1981;(Supl 7):67-72.
 30. Statistical Graphics Corporation. *User's guide. Statgraphics plus version 4.1*, USA. 1999.
 31. Auxiliadora M, Manera J. Los métodos de decisión multicriterio discreta. En: *Análisis multicariable para las ciencias sociales*. Pearson-Printice Hall; 2003:670-709.
 32. Masera O, Astier M, López RS. *Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales: El marco de evaluación MESMIS*. Grupo interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, México. México DF. Mundi-Prensa 1999.
 33. Macario MPA. *Efecto del cambio del uso del suelo sobre la selva y estrategias para el manejo sustentable de la vegetación secundaria en Quintana Roo [tesis doctorado]* Mérida, Yucatán: Universidad Autónoma de Yucatán; 2003.
 34. Ku VJ, Ramírez AL, Jiménez JF, Alayón J, Ramírez CL. Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico mexicano. En: Sánchez MD, Rosales MM editores. *Agroforestería para la producción animal en América Latina*. FAO. Roma, 1999:231-250.
 35. Sosa RE, Pérez RD, Ortega RL, Zapata BG. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos. *Téc Pecu Méx* 2004;42(2):129-144.
 36. Camero RA. *Experiencias desarrolladas por el CATIE en el uso del follaje de Erythrina sp y Gliricidia sepium en la producción de carne y leche de bovinos*. *Agroforestería en las Américas* 1995;2(8):9-13.