

Influence of forage legumes on the soil-grass system

Influencia de las leguminosas forrajeras en el sistema suelo-pasto

Sandra Lok Mejías, Crespo, G. and Verena Torres

Instituto de Ciencia Animal Carretera Central Km 47 ½, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba

Email: slok@ica.co.cu

The research was conducted during 15 years at the Instituto de Ciencia Animal, located in Mayabeque, Cuba, to evaluate the ecological and productive impact of legumes in the soil-grass system of tropical livestock areas. Two grasslands were studied: 1) Silvopastoral with *Leucaena leucocephala* / *Megathyrsus maximus* and 2) Herbaceous legume mixture in association with grasses. By means of principal components analysis, the indicators with higher contribution to the variability of each grassland were selected to evaluate their performance every five years. Those with a preponderance value higher than ± 0.78 and explained at least 65 % of the accumulated variance were chosen. In the vegetation, up to 50 indicators were studied and 7 to 9 were selected, in which the plant coverage, the density of the grass and the presence of natural grasses coincided. From the 76 soil indicators, between 6 and 9 were selected, in which the distribution of aggregates in dry and humid conditions, structural stability, Value n and underground phytomass were highlighted. Also, the soil quality index and the organic carbon stored in the soil (CSS) were evaluated. The silvopastoral grassland during the first 12 years of continuous exploitation had plant coverage higher than 95 %, 6 and 9 plants m² of Guinea grass, 4 and 6 t DM ha⁻¹ and a gradual improvement of soil fertility, with a predominance of aggregates in humid conditions between 1 and 5 mm, with values between 25 and 58%. From the 14 exploitation years, there was no difference in the performance of the indicators, which showed their stability and the balance in the soil-grass system. In the mixture of legumes with grasses from the 12 years of exploitation decreased glycine but recovered the total legumes percentage, which were characterized to have higher predominance in the dry season. Both grasslands had good soil quality, increased the organic carbon stored in the soil (CSS) and maintained productive and ecological stability. Confidence tables for indicators are showed which can be used as reliable and sensitive tools to detect changes in grasslands and can be used in research, teaching and production.

Key words: *grass- legumes associations, soil, livestock, sustainability*

Forage legumes have increased their presence in tropical livestock production.

This is due mainly to their benefits, including its contribution to the biological fixation of atmospheric nitrogen in the soil, the rapid decomposition of its plant material and its protein contribution to the animal diet (Olivares-Pérez, 2011).

These characteristics, join to their high plasticity, their diverse size and the dissimilar growth curves that identify each species, allow them to be used in a wide range of edaphoclimatic regions and in technologies that enhance them as main grass or forage, either in silvopastoral systems or others where the herbaceous stratum is the balanced association of grasses and legumes (Boschi *et al.* 2016).

La investigación se realizó durante 15 años en el Instituto de Ciencia Animal, ubicado en Mayabeque, Cuba, para evaluar el impacto ecológico y productivo de las leguminosas en el sistema suelo-pasto de áreas ganaderas tropicales. Se estudiaron dos pastizales: 1) silvopastoril con *Leucaena leucocephala*/ *Megathyrsus maximus* y 2) mezcla de leguminosas herbáceas en asociación con gramíneas. Mediante análisis de componentes principales se seleccionaron los indicadores con mayor aporte a la variabilidad de cada pastizal, para evaluar quinquenalmente su comportamiento. Se escogieron aquellos con valor de preponderancia mayor de ± 0.78 y que explicaron, al menos, 65 % de la varianza acumulada. En la vegetación se estudiaron hasta 50 indicadores y se seleccionaron entre 7 y 9, en los que coincidieron la cobertura vegetal, la densidad del pasto base y la presencia de pastos naturales. De los 76 indicadores del suelo, se seleccionaron entre 6 y 9, en los que resaltaron la distribución de agregados en húmedo y en seco, la estabilidad estructural, el Valor n y la fitomasa subterránea. También, se evaluaron el índice de calidad del suelo y el carbono orgánico almacenado en el suelo. El pastizal silvopastoril durante los primeros 12 años de producción continua tuvo cobertura vegetal superior a 95 %, 6 y 9 plantas m² de guinea, 4 y 6 t MS ha⁻¹ y mejora paulatina de la fertilidad del suelo, con predominio de agregados en húmedo entre 1 y 5 mm, con valores entre 25 y 58 %. A partir de los 14 años de producción, no tuvo diferencias en el comportamiento de los indicadores, lo que evidenció su estabilidad y el equilibrio en el sistema suelo-planta. En la mezcla de leguminosas con gramíneas a partir de los 12 años de explotación disminuyó glycine, pero se recuperó el porcentaje de leguminosas total, que se caracterizaron por tener mayor predominio en la época poco lluviosa. Ambos pastizales tuvieron buena calidad del suelo, aumentaron el carbono orgánico almacenado en el suelo y mantuvieron estabilidad productiva y ecológica. Se presentan tablas de confianza para los indicadores, que podrán servir en la investigación, la docencia y la producción, como herramientas confiables y sensibles que sirvan para revelar cambios en los pastizales.

Palabras clave: *asociaciones gramíneas-leguminosas, suelo, ganadería, sostenibilidad*

Las leguminosas forrajeras han incrementado su presencia en la producción ganadera tropical. Esto se debe, fundamentalmente a sus bondades, entre las que figura su contribución a la fijación biológica del nitrógeno atmosférico en el suelo, la rápida descomposición de su material vegetal y su aporte proteico a la dieta animal (Olivares-Pérez 2011).

Estas características, unido a su alta plasticidad, su diverso porte y las disimiles curvas de crecimiento que identifican a cada especie, permiten que se utilicen en amplio rango de regiones edafoclimáticas y en tecnologías que las potencian como pasto o forraje principal, ya sea en sistemas silvopastoriles u otros, en los que el estrato herbáceo es la asociación equilibrada de gramíneas y leguminosas (Boschi *et al.* 2016).

There are no long-term studies that allow explaining their effect on biomass production and soil dynamics, as well as their potential for grass persistence in various livestock technologies. Therefore, the objective of this study was to evaluate the ecological and productive impact of the use of legumes in tropical grasslands with more than 15 years of continuous exploitation.

Materials and methods

The study was conducted between 2002 and 2015 at the Instituto de Ciencia Animal located in Mayabeque, Cuba. Two grasslands were evaluated:

a) silvopastoral based on *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit cv. Peru / *Megathyrsus maximus* Jacq. in Ferralitic red hydrated soil (Ferralsol) with six exploitation years at the beginning of the evaluation. The cattle were constituted by Holstein, Siboney and crossbred cows. The average animal stocking rate was 2.7 UGM ha⁻¹ during the first 10 exploitation years up to 1.8 UGM ha⁻¹ in the last five years. The rotation time was every 57 and 28 days average, in the dry and rainy season, respectively.

b) mixture of herbaceous legumes (*Stylosanthes spp.* (stylosanthes), *Desmodium spp.* (desmodio), *Pueraria phaseoloides* (kudzú), *Macroptilium atropurpureum* (siratro) and *Neonotonia wightii* (glycine) with grass (*Cynodon sp.*) in Ferralitic reddish brown soil (Inceptisol) with nine years at the beginning of the evaluation. During the first eight years of study maintained the animal stocking rate of 2 animals ha⁻¹, and the cattle were of Cebu and Charol breeds. The mean duration of each fattening was 65 days, with an initial average weight of 214 kg and a final average weight of 270 kg, which led to an average gain of 861 g animal⁻¹day⁻¹.

During the dry season the grassland had 10 days of stay and 49 days of rest, while in the rainy season it had 7 days of stay and 49 days of rest, for a total of 6 rotations per year. Since 2012, it had irregular grazing until it completely stop in 2014.

Soils were classified according to Hernández *et al.* (2015) and correlated with Soil Survey Staff (2010).

During the first three years, many indicators of the soil-grass system were determined to select those with higher weight in the variability of the system that allowed the efficient monitoring of each grassland.

From the vegetation were measured between 38 and 50 indicators, according to the existing vegetation and its growth characteristics. Among them, there were the botanical composition, density and species frequency, height, biomass availability, death and appearance of species and chemical composition of the grass (table 1).

A total of seventy soil indicators were evaluated for depth ranging from 0 to 15 cm, including texture, structure, resistance to penetration, Value n, humidity,

No existen estudios prolongados que permitan dilucidar el efecto de las leguminosas forrajeras en la producción de biomasa y la dinámica edáfica, así como sus posibilidades de persistencia como pasto base en diversas tecnologías ganaderas. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto ecológico y productivo del uso de leguminosas en pastizales tropicales con más de 15 años de producción continua.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó entre 2002 y 2015 en el Instituto de Ciencia Animal, ubicado en Mayabeque, Cuba. Se evaluaron dos pastizales:

a) Silvopastoral, basado en *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit vc. Perú / *Megathyrsus maximus* Jacq. en suelo ferralítico rojo hidratado (ferralsol) con seis años de producción al inicio de la evaluación. El ganado estuvo constituido por vacas de raza Holstein, Siboney y mestizo. La carga animal promedio fue de 2.7 UGM ha⁻¹ durante los primeros 10 años de producción hasta 1.8 UGM ha⁻¹ en los últimos cinco años. El tiempo de rotación fue cada 57 y 28 d promedio, en la época poco lluviosa y lluviosa, respectivamente.

b) Mezcla de leguminosas herbáceas (*Stylosanthes spp.* (stylosanthes), *Desmodium spp.* (desmodio), *Pueraria phaseoloides* (kudzú), *Macroptilium atropurpureum* (siratro) y *Neonotonia wightii* (glycine) con gramínea (*Cynodon sp.*) en suelo ferralítico pardo rojizo (Inceptisol) con nueve años al inicio de la evaluación. Durante los primeros ocho años de estudio, mantuvo la carga animal de dos animales ha⁻¹, y el ganado fue de las razas Cebú y Charol. La duración media de cada ceba fue de 65 d, con peso promedio inicial de 214kg y peso promedio final de 270 kg. Esto conllevó a ganancia media de 861g animal⁻¹día⁻¹.

Durante el período poco lluvioso, el pastizal tuvo 10 d de estancia y 49 d de reposo, mientras que en el lluvioso tuvo 7 d de estancia y 49 d de reposo, para un total de 6 rotaciones por año. A partir del año 2012, tuvo pastoreo irregular hasta que cesó completamente en 2014.

Los suelos se clasificaron según Hernández *et al.* (2015) y se correlacionaron con Soil Survey Staff (2010).

Durante los tres primeros años, se determinaron numerosos indicadores del complejo suelo-pasto, para seleccionar aquellos con mayor peso en la variabilidad del sistema, que permitieran realizar el seguimiento eficiente de cada pastizal.

De la vegetación, se midieron entre 38 y 50 indicadores, según la vegetación existente y sus características de crecimiento. Entre ellos, estuvieron la composición botánica, la densidad y frecuencia de las especies, la altura, la disponibilidad de biomasa, muerte y aparición de especies y la composición química del pasto (tabla 1).

Se determinaron 70 indicadores del suelo, evaluados para la profundidad de 0 a 15 cm. Entre ellos estuvieron textura, estructura, resistencia a la penetración, valor n,

Tabla 1. Indicators evaluated in vegetation and grasslands soil

Indicators	
Vegetatives	Edaphics
<ul style="list-style-type: none"> • Botanical composition (t' Mannetje and Haydock 1963) • Availability of biomass (Haydock and Shaw (1975) • Grass height (cm) • Chemical composition (AOAC 1995) • Frequency of appearance ; density per specie; plant coverage and bare soil; and appearance and death of species (Huss <i>et al.</i> 1996) • Rooting points • In growth species on bunches was measured (<i>P. maximum</i>): <ul style="list-style-type: none"> ➢ Plants m² ➢ Diameter of bunches ➢ Number of living tillers ➢ Number of dead tillers ➢ Leaf width ➢ Leaf length • In <i>L. leucocephala</i>: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Height ➢ Stem diameter ➢ Top diameter ➢ Number of branches ➢ Density per hectare 	<ul style="list-style-type: none"> Physical <ul style="list-style-type: none"> • Texture (Martín and Cabrera, 1987b) • Structural stability and structure coefficient in humid, (Kaurichev, 1984) Structure coefficient in dry (Mbagwu <i>et al.</i> 1983) • Distribution of aggregates in dry and humid (Martín and Cabrera 1987a) • Structure coefficient in humid (SC) and in dry (K). • Microstructure (Martín and Cabrera 1987c) • Compactation (Penetrometer) • Natural humidity (gravimetric) and hygroscopic humidity Martín and Cabrera 1987e) • Value n (Alonso 1997) • Plasticity index, lower plasticity limit and higher limit (Martín and Cabrera 1987d) Chemicals: <ul style="list-style-type: none"> • N (AOAC 1995) • P (Oniani 1964) • Ca and Mg (Maslova, cited by Paneque 1965) • pH in chloride (potentiometric) • Organic matter (Walkley and Black 1934) Biological : <ul style="list-style-type: none"> • Composition and biomass of the mesofauna (Fjellberg, 1998) and macrofauna (Springett 1981) • Underground phytomass (Hernández 1999)
<ul style="list-style-type: none"> • Biodiversity (N, E, S, H'). Anon (2001) 	

pH, organic matter, nutrient content, underground phytomass, mesofauna and macrofauna. The physical and chemical indicators of the soil were annually measured when the rainy season stabilized. The biological ones, for both soil and vegetation, were evaluated twice by climatic season.

Subsequently, three evaluations were carried out in 2005, 2010 and 2015 to provide continuity of the study, where only the indicators selected in the grasslands were used to determine the state of the soil-plant system. In addition, the soil quality index was determined according to Shepherd *et al.* (2006) which is determined from the visual evaluation of texture, structure, consistency, porosity, color, mottling, worm content, root depth, erosion and other characteristics. The carbon stored in the soil (CSS) was also determined according to McVay and Rice (2002) and Miranda *et al.* 2007.

The analysis for the selection of indicators was carried out using the main components analysis methodology (Visauta 1998). Those indicators with preponderance values higher than ± 0.78 and that were located in the components that explained at least 65 % of the accumulated variance were selected. These indicators were analyzed by linear variance for the first three years (2002, 2003 and 2004) and from the best value based on their biological interpretation; the confidence interval for the 95 % probability was calculated and used as a

humedad, pH, materia orgánica, contenido de nutrientes, fitomasa subterránea, mesofauna y macrofauna. Los indicadores físicos y químicos del suelo se midieron anualmente, al estabilizarse la época lluviosa. Los biológicos, para el suelo como para la vegetación, se evaluaron dos veces por estación climática.

Posteriormente, se realizaron tres evaluaciones en 2005, 2010 y 2015 para dar continuidad al estudio. Se utilizaron para ello solo los indicadores seleccionados en los pastizales para determinar el estado del sistema suelo-planta. Además, se determinó el índice de calidad de suelo según Shepherd *et al.* (2006), el que se determina a partir de la evaluación visual de la textura, estructura, consistencia, porosidad, color, moteaduras, contenido de lombrices, profundidad de las raíces, erosión, y otras características. También, se determinó el carbono almacenado en el suelo (CAS), según McVay y Rice (2002) y Miranda *et al.* (2007).

El análisis para la selección de indicadores se realizó mediante la metodología análisis de componentes principales (Visauta 1998). Se seleccionaron aquellos indicadores con valores de preponderancia mayores a ± 0.78 , que estuvieran ubicados en las componentes que explicaron, al menos, 65 % de la varianza acumulada. A estos indicadores se les realizó análisis de varianza lineal para los tres primeros años (2002, 2003 y 2004). A partir del mejor valor basado en su interpretación biológica se le calculó el rango de confianza para 95 %

reference to determine the stability of each grassland. In the five-year follow-up (2005, 2010 and 2015), the data of the indicators were analyzed by linear variance between the evaluated years. The statistical package InfoStat (2008) was used and the variance analyzes and means were compared by Duncan (1955) test.

Results and discussion

The multivariate analysis showed that vegetation variance in grasslands was fundamentally described by five main components, which together explained between 80 and 84 % of the variability. Of the total of evaluated indicators, 7 to 9 were selected, some of which were reiterated in the two grasslands. Plant coverage, grass density, botanical composition and biomass availability were the most frequent (table 2).

The selected indicators coincided with those proposed by Quiñónez *et al.* (2004), who pointed out

de probabilidad, que sirvió de referencia para determinar la estabilidad de cada pastizal. En el seguimiento quinquenal posterior (2005, 2010 y 2015), a los datos de los indicadores se le realizó análisis de varianza lineal entre los años evaluados. Se utilizó el paquete estadístico InfoStat (2008) para los análisis de varianzas y las medias se compararon por Duncan (1955).

Resultados y Discusión

El análisis multivariado mostró que la varianza de la vegetación en los pastizales estuvo descrita, fundamentalmente, por cinco componentes principales, que en su conjunto explicaron entre 80 y 84 % de la variabilidad. Del total de indicadores evaluados se seleccionaron entre 7 y 9, algunos de estos se reiteraron en los dos pastizales. La cobertura vegetal, la densidad del pasto base, la composición botánica y la disponibilidad de biomasa fueron los que más se

Tabla 2. Selected vegetation indicators in each grassland, their performance and range of confidence values calculated for 95% probability during the first three years of the study.

Grassland	Indicator	Season	Year			± SE and sign	CV
			2002	2003	2004		
Silvopastoral	Density of guinea grass (plantas m ⁻²)	Dry	5.8 ^b	6.3 ^b	9.2 ^a	0.05***	8.6 – 9.5
		Rainy	6.1 ^b	6.4 ^b	7.8 ^a	0.04***	7.9 – 9.0
	Plant coverage (%)	Dry	94.6 ^b	95.3 ^b	99.5 ^a	0.02**	99.4 – 99.6
		Rainy	97.3 ^b	97.0 ^b	99.4 ^a	0.03**	99.5 – 99.6
	Total biomass availability (t DM ha ⁻¹)	Dry	4.3 ^b	5.8 ^a	4.1 ^b	0.03**	5.4 – 6.3
Rainy		6.2	6.6	6.4	0.07	6.0 – 7.1	
Mixture of creeping legumes with grasses	Density of glycine (plants m ⁻²)	Dry	11.2 ^b	25.2 ^a	23.6 ^a	0.02***	22.2 – 22.8
		Rainy	25.3 ^c	34.5 ^b	36.4 ^a	0.02***	34.2 – 34.6
	Legumes (%)	Dry	80.1 ^a	82.3 ^a	59.8 ^b	0.08***	83.2 – 83.3
		Rainy	82.3	75.6	76.3	0.12	82.2 – 82.3
	Grasses (%)	Dry	10.0 ^b	15.2 ^b	44.8 ^a	0.1***	10.7 – 10.8
Rainy		14.5	20.1	19.8	0.1	14.7 – 14.8	

*** p<0.001; ** p<0.01

Means with different letters between rows differ significantly P< 0.05 (Duncan 1955)

that these may be the reflection of the effect of grazing management on the abundance and development of plant species. During the first three years (table 1), which were used as a baseline for monitoring the effect of management on the performance of each grassland, it was observed that in the silvopastoral grassland the guinea grass density as grass, plant coverage and biomass availability increased significantly between years, with values that showed productive stability in correspondence with the potentialities of grasses and forages and showed the efficiency in the management (Lok 2010). The performance of these indicators was defined mainly by the gradual increase of *M. maximus* density, which showed a rise between years in the dry season. This grass reaches 9.2 plants m⁻², while in the rainy season decreased to 7.8 plants m⁻² influenced by the intense drought of this year. These

repeated (table 2).

Los indicadores seleccionados coincidieron con los propuestos por Quiñónez *et al.* (2004), quienes señalaron que estos pueden ser el reflejo del efecto del manejo del pastoreo en la abundancia y desarrollo de las especies vegetales. Durante los tres primeros años (tabla 1), que sirvieron como línea base para el seguimiento del efecto del manejo en el comportamiento de cada pastizal, se observó que en el pastizal silvopastoral la densidad de guinea como pasto base, la cobertura vegetal y la disponibilidad de biomasa se incrementaron significativamente entre años, con valores que evidenciaron estabilidad productiva en correspondencia con las potencialidades de los pastos y forrajes presentes y mostraron la eficiencia en el manejo (Lok 2010). El comportamiento de estos indicadores se definió, principalmente, por el incremento paulatino de la densidad de *M. maximus*, que manifestó ascenso entre años

results indicated that it was possible to positively potentiate the guinea grass site in the system as grass in both seasons, which was positive to maintain the productive stability of grazing. While, the legume mixture grassland showed increases in glycine density with respect to the first year and reached values between 23 and 25 plants m^{-2} with no significant differences between 2003 and 2004. This showed that this plant under these edaphoclimatic conditions and animal management had predominance and persistence with respect to other legumes of the initial mixture. In addition, when analyzing the percentage of total legumes it was observed that these decreased in time but maintained values higher than 60 %. This indicated that legumes prevailed in the association with grasses after 11 years of continuous exploitation in the pre-fattening of cattle. This result showed that herbaceous legumes with adequate management may persist in grazing.

The ranges of confidence values obtained (table 2 and table 4) were used as a reference to indicate the stability state of each grassland, according to the biological interpretation of productivity and the condition of soil quality that was determined according to the potential of the soil-grass systems analyzed. This was the basis of later interpretations of grassland performance and the impact of legumes on this one.

The second stage of vegetation evaluation in the silvopastoral grassland (table 3) showed that, from the 14 years of continuous exploitation, values that indicated productive stability in the grassland until the 19 years were maintained, according to the range of values obtained in the first stage of the research.

The guinea grass density stabilized, around 8.3 plants m^{-2} in the dry season and around 9.0 plants m^{-2} for the rainy season. The vegetation coverage had the lowest value with 19 years, but above 95 % for both seasons. This one, according to Murgueitio (2015) is an adequate value in these systems in which pruning is an indispensable resource to achieve the adequate biomass production, which was already necessary in the last evaluation and could be the factor that determined the decrease of this indicator.

However, the availability of biomass showed stability with values close to 6.0 t DM ha^{-1} , regardless of the seasonal period.

The grassland with herbaceous legumes mixture showed persistence of these plants, with decrease of glycine but increase of other legumes of the initial mixture as kudzu and centrocema. The increase of these ones with the increase of the production time was related to the change in the management, which lowered the pressure of grazing and increased the rest time until it was stopped using stable for grazing in the year 2012.

The values obtained in this study in terms of legumes percentage are higher than those reported by Roca *et al.*

en la época poco lluviosa. Esta gramínea llega a alcanzar 9.2 plantas m^{-2} , mientras que en el período lluvioso disminuyó hasta 7.8 plantas m^{-2} en lo que influyó la intensa sequía de este año. Estos resultados indicaron que se logró potenciar positivamente el lugar de la guinea en el sistema, como pasto base en ambos períodos estacionales, lo que fue provechoso para mantener la estabilidad productiva del silvopastoreo. Mientras, el pastizal con mezcla de leguminosas mostró incrementos en la densidad de glycine con respecto al primer año y alcanzó valores entre 23 y 25 plantas m^{-2} sin diferencias significativas entre 2003 y 2004. Esto indicó que esta planta en esas condiciones edafoclimáticas y de manejo animal tuvo predominio y persistencia con respecto a otras leguminosas de la mezcla inicial. Además, al analizar el porcentaje de leguminosas total se observó que estas disminuyeron en el tiempo, pero mantuvieron valores superiores a 60 %. Esto indicó que las leguminosas prevalecieron en la asociación con las gramíneas después de 11 años de producción continua en la preceba de ganado. Este resultado reveló que las leguminosas herbáceas con adecuado manejo pueden persistir en pastoreo.

Los rangos de valores de confianza obtenidos (tabla 2 y tabla 4) sirvieron de referencia para indicar el estado de estabilidad de cada pastizal, según la interpretación biológica de la productividad y la condición de calidad del suelo, determinada en función de las potencialidades de los sistemas suelo-pasto analizados. Esta fue la base de las interpretaciones posteriores acerca del comportamiento de los pastizales y el impacto de las leguminosas en ellos.

La segunda etapa de evaluación de la vegetación en el pastizal silvopastoral (tabla 3) indicó que, a partir de los 14 años de producción continua, se mantuvieron valores que indicaron estabilidad productiva en el pastizal hasta los 19 años, de acuerdo con el rango de valores obtenidos en la primera etapa de la investigación.

La densidad de guinea se estabilizó, aproximadamente, de 8,3 plantas m^{-2} en la época poco lluviosa a 9.0 plantas m^{-2} para la lluviosa. La cobertura vegetal alcanzó el menor valor con 19 años, aunque por encima de 95 % para ambas épocas. Este, según Murgueitio (2015) es un valor adecuado en estos sistemas en los que la poda es un recurso indispensable para lograr la adecuada producción de biomasa, que era ya necesaria en la última evaluación, y pudo ser el factor que determinó la disminución de este indicador.

Sin embargo, la disponibilidad de biomasa manifestó estabilidad, con valores muy cercanos a 6.0 t MS ha^{-1} independientemente de la época estacional.

El pastizal con mezcla de leguminosas herbáceas mostró persistencia de estas plantas, con disminución de glycine pero incremento de otras leguminosas de la mezcla inicial como kudzu y centrocema. El aumento de estas con el incremento del tiempo de producción se relacionó al cambio en el manejo, el que bajó la presión de pastoreo e incrementó el tiempo de reposo hasta que se dejó de usar establemente para pastoreo en el año

Tabla 3. Performance of the selected vegetation indicators in each grassland, during the systematic monitoring.

Grassland	Indicator	Season	Year			± SE and sign
			2005	2010	2015	
Production time, years			9	14	19	
Silvopastoral	Density of guinea grass (plants m ⁻²)	Dry	9.6 ^a	8.5 ^b	8.3 ^b	0.05***
		Rainy	10.2 ^a	9.1 ^b	9.0 ^b	0.03***
	Plant coverage (%)	Dry	99.0 ^a	97.2 ^b	95.2 ^c	0.11**
		Rainy	99.4 ^a	98.2 ^b	97.1 ^b	0.03**
	Total biomass availability (t MS ha ⁻¹)	Dry	6.4 ^a	5.7 ^b	6.0 ^b	0.01**
		Rainy	7.2 ^a	6.7 ^b	6.4 ^b	0.10***
Production time, years			12	17	22	
Mixture of creeping legumes with grasses	Density of glycine (plants m ⁻²)	Dry	23.6 ^a	20.1 ^b	18.2 ^c	0.34***
		Rainy	36.4 ^a	33.2 ^b	30.0 ^b	0.21***
	Legumes (%)	Dry	55.7 ^c	60.2 ^b	69.0 ^a	0.08***
		Rainy	65.3 ^b	72.3 ^a	80.1 ^a	0.12**
	Grasses (%)	Dry	44.3 ^a	34.2 ^b	28.5 ^c	0.35***
		Rainy	19.8	21.5	18.3	0.5

*** p<0.001; ** p< 0.01

Means with different letters between rows differ significantly P< 0.05 (Duncan 1955)

(2014), who, when associating grasses with legumes after three years reached percentages between 39 and 27 % of these species (*Centrosema*, *Desmodium*, *Galactia*, *Macroptilium* and *Teramnus*), with positive influence ($P < 0.05$) on total daily milk yields and in the indicators of production/cow/day and per ha/day, higher than 8.0 kg of milk. Méndez *et al.* (1993) in studies performed on 15 grasslands with association of grasses and legumes found that the percentages of legumes decrease in time due to overgrazing in the dry season, due to the stocking rate and occupation time that prevent the establishment of new rooting points and the development of new plants.

The soil indicators selected in each grassland and the ranges of confidence values that indicated stability during the first three years of study are shown in table 4. From the 76 indicators determined in the soil, between 6 and 9 were selected, in which the distribution of aggregates in dry and humid conditions, structural stability, Value n, underground phytomass, macrofauna and mesofauna were reiterated to explain the variability. When performing similar studies, Borrelli *et al.* (2013) and Ferreras *et al.* (2004) stated that agro-physical indicators are the soil variables that have higher weight in temporal and spatial variability, a statement that agrees with the results of our research. In both grasslands the performance of the indicators showed the improvement of soil fertility and showed the stability of this component of the system.

In the subsequent monitoring of the selected indicators (table 5) it was observed that, in general, both grasslands remained stable, with adequate edaphic conditions. In

2012.

Los valores obtenidos en este trabajo en cuanto a porcentaje de leguminosas son superiores a los reportados por Roca *et al.* (2014) quienes al asociar gramíneas con leguminosas después de tres años lograron porcentajes entre 39 y 27 % de esas especies (*Centrosema*, *Desmodium*, *Galactia*, *Macroptilium* y *Teramnus*), los que influyeron positivamente ($P < 0,05$) en los rendimientos totales diarios de leche y en los indicadores de producción/vaca/día y por ha/día, superiores a 8,0 kg de leche. Méndez *et al.* (1993) en estudios realizados en 15 pastizales con asociación de gramíneas y leguminosas encontraron que los porcentajes de leguminosas decrecen en el tiempo por el sobrepastoreo en la época seca, debido a la carga y el tiempo de ocupación que impiden el establecimiento de nuevos puntos de enraizamiento y el desarrollo de nuevas plantas.

Los indicadores edáficos seleccionados en cada pastizal y los rangos de valores de confianza, que indicaron estabilidad durante los tres primeros años de estudio, se muestran en la tabla 4. De los 76 indicadores determinados en el suelo, se seleccionaron entre 6 y 9, en los que la distribución de agregados en húmedo y en seco, la estabilidad estructural, el Valor n, la fitomasa subterránea, la macrofauna y la mesofauna se reiteraron para explicar la variabilidad. Al realizar estudios similares, Borrelli *et al.* (2013) y Ferreras *et al.* (2004) plantearon que los indicadores agrofísicos constituyen las variables del suelo que tienen mayor peso en la variabilidad temporal y espacial, aseveración que coincide con los resultados de esta investigación. En ambos pastizales, el comportamiento de los indicadores manifestó mejora de la fertilidad del suelo y mostró la estabilidad de este componente del sistema.

Table 4. Edaphic indicators selected in each grassland, their performance and range of confidence values calculated for 95% of probability during the first three years of the study

Grassland	Indicator	Season	Year			± SE And sign	CV
			2002	2003	2004		
Silvopastoral	Distribution of aggregates in humid from 1 to 5 mm (%)		0.38 ^c (25.1)	0.54 ^b (39.8)	0.79 ^a (58.5)	0.03***	58.7–58.9
	Distribution of aggregates in dry > 10 mm (%)		0.66 ^a (37.8)	0.44 ^b (25.2)	0.35 ^c (20.4)	0.06***	20.3–20.5
	Value n		0.32 ^a	0.31 ^{ab}	0.26 ^b	0.01 *	0.24–0.28
	Underground phytomass from 35 to 42 cm (g 100 cm ⁻³)	Dry	0.41 ^b	0.62 ^a	0.71 ^a	0.04***	0.64–0.79
		Rainy	0.39 ^b	0.68 ^a	0.70 ^a	0.04***	0.62–0.78
Mixture of creeping legumes with grasses	Plasticity index (%)		27.1 ^a	20.2 ^b	23.3 ^b	1.07 *	37.6–37.9
	Distribution of aggregates in humid from 1 to 2 mm (%)		18.02 (8.1)	15.47 (10.0)	20.05 (18.5)	0.08	18.3–18.4
	Penetration resistance from 20 to 30 cm (Mpa)		1.58 ^a	1.58 ^a	0.96 ^b	0.09**	0.78–1.13
	Underground phytomass from 35 to 42 cm (g 100 cm ⁻³)	Dry	0.47 ^b	0.48 ^b	0.72 ^a	0.04***	0.62–0.78
		Rainy	0.36 ^b	0.40 ^b	0.66 ^a	0.03***	0.59–0.72

*** p<0.001; ** p< 0.01

() Original means; data transformed according to \sqrt{X}

Means with different letters between rows differ significantly P< 0.05 (Duncan 1955)

CV: Confidence values

the silvopastoral there was a tendency from 2010 (14 years in exploitation), to decrease the indicators values, but to remain without significant differences between them and with adequate fertility values. The creeping legume mixture had not differences for the years 2005 and 2010 (12 and 17 years) but in 2015 with 22 years of exploitation showed significant improvements in penetration resistance and in underground phytomass. This should have been related to the fact that, since 2012, the grassland stopped having stable grazing and was practically at rest. This seems to positively influence on the performance and health of the soil, although it has lost the efficiency of the use of grassland for animal production.

According to Shepherd *et al.* 2006 the evaluation of the soil quality is good when the soil quality index has a value higher than 30. Figure 1 shows that the two grasslands had higher values, which indicated that both agricultural management guarantees the stability of the soil fertility. This index is a reflection of the physical properties of the soil, which directly affect the efficiency and sustainability of the grass and the soil-plant system. The silvopastoral tended to decrease after 14 years of exploitation, which was attributed to the lack of pruning, as a regulating element of the shade. Consequently, the excess of shade could be the cause of the decrease of the vegetal coverage and the availability of biomass found.

The carbon stored in the soil is directly dependent on soil organic matter and apparent density, so as these indicators improve, the CSS will also improve. In both

En el seguimiento posterior de los indicadores seleccionados (tabla 5) se observó que, generalmente, ambos pastizales continuaron estables, con adecuadas condiciones edáficas. En el silvopastoral a partir de 2010 hubo tendencia (14 años en producción) a disminuir los valores de los indicadores, pero mantenerse sin diferencias significativas entre sí y con valores adecuados de fertilidad. La mezcla de leguminosas rastreras no tuvo diferencias para 2005 y 2010 (12 y 17 años), pero en 2015 con 22 años de producción mostró mejoras significativas en la resistencia a la penetración y en la fitomasa subterránea. Esto debió estar relacionado con que a partir de 2012 el pastizal dejó de tener pastoreo estable y quedó prácticamente en reposo. Esto pareció influir positivamente en el comportamiento y salud del suelo, aunque haya perdido la eficiencia del uso del pastizal para la producción animal.

Según Shepherd *et al.* (2006), la evaluación de la calidad del suelo es buena cuando su índice de calidad posee valor superior a 30. En la figura 1, se muestra que los dos pastizales tuvieron valores superiores, lo que indicó que ambos manejos agropecuarios garantizan la estabilidad de la fertilidad. Este índice es el reflejo de las propiedades físicas del suelo, que repercuten directamente en la eficiencia y sostenibilidad del pasto y del sistema suelo-planta. El silvopastoral tendió a disminuir después de los 14 años de explotación, lo que se adjudicó a la falta de poda, como elemento regulador de la sombra. Consiguientemente, el exceso de sombra pudo ser la causa de la disminución de la cobertura

Tabla 5. Performance of the edaphic indicators selected in each grassland, during the systematic monitoring.

Grassland	Indicator	Season	Year			± SE and sign
			2005	2010	2015	
Silvopastoral	Production time , years		9	14	19	
	Distribution of aggregates in humid from 1 to 5 mm (%)		0.81 ^a (59.6)	0.64 ^b (49.8)	0.65 (47.2)	0.03 **
	Distribution of aggregates in dry > 10 mm (%)		0.3 (20.4)	0.37 (23.2)	0.30 (0.18)	0.21
	Value n		0.36 ^a	0.29 ^b	0.30 ^b	0.01 **
	Underground phytomass from 35 to 42 cm (g 100 cm ⁻³)	Dry Rainy	0.68 ^a 0.59 ^a	0.63 ^b 0.50 ^b	0.61 ^b 0.51 ^b	0.01 ** 0.02 *
Mixture of creeping legumes with grasses	Production time , years		12	17	22	
	Plasticity index (%)		23.6	22.9	23.1	0.32
	Distribution of aggregates in humid from 1 to 2 mm (%)		21.00 ^a (19.8)	19.68 ^b (18.0)	18.32 ^b (17.2)	0.08 *
	Penetration resistance from 20 to 30 cm (Mpa)		0.96 ^a	1.00 ^a	0.84 ^b	0.09**
	Underground phytomass from 35 to 42 cm (g 100 cm ⁻³)	Dry Rainy	0.72 ^a 0.60 ^b	0.65 ^b 0.58 ^b	0.78 ^a 0.69 ^a	0.04*** 0.03***

*** p<0.001; ** p< 0.01

() Original means; data transformed according to \sqrt{X}

Means with different letters between rows differ significantly P< 0.05 (Duncan 1955)

systems the management tended to progress, had its highest variation and weight in the depth of 0 to 15 cm, but the silvopastoral from the 14 years of exploitation had no differences, while the mixture showed a gradual increase between years of exploitation. These differences in the performance of soil quality index and CSS, as well as the type of grassland, soil type and management established by each technology, were highlighted because the silvopastoral grassland maintained its stable management, but in the legume mixture from 2012 the grazing was irregular and the area began to be practically in fallow, which was inefficient for livestock production, but benefited the ecological restoration of the area (figures 1 and 2).

It is concluded that grasslands based on the use of forage legumes can contribute favorably to the stability of the soil-grass system in tropical regions. These grasslands can persist for long periods of time, with adequate biomass production and improved soil fertility, provided they are managed with the correct technological discipline.

vegetal y la disponibilidad de biomasa constatadas.

El carbono almacenado en el suelo está directamente en función de la materia orgánica del suelo y la densidad aparente, por lo que en la medida que estos indicadores mejoren, también el CAS mejorará. En ambos sistemas, el manejo tendió al progreso, tuvo su mayor variación y peso en la profundidad de 0 a 15 cm, pero el silvopastoral a partir de los 14 años de producción no tuvo diferencias, mientras que la mezcla manifestó incremento sostenido paulatino entre años producción. Estas diferencias en el comportamiento del índice de calidad del suelo y el CAS, además de por el tipo de pastizal, el tipo de suelo y el manejo que establece cada tecnología, estuvieron remarcadas porque el pastizal silvopastoral mantuvo su manejo estable, pero en la mezcla de leguminosas a partir de 2012 el pastoreo fue irregular y el área comenzó a estar prácticamente en barbecho, lo que fue ineficiente para la producción ganadera, pero benefició la restauración ecológica del área (figuras 1 y 2)

Se concluye que los pastizales basados en el uso de leguminosas forrajeras pueden contribuir favorablemente a la estabilidad del sistema suelo-pasto en regiones tropicales. Estos pastizales pueden persistir durante largos períodos de tiempo, con adecuada producción de biomasa y mejora de la fertilidad del suelo, siempre que se manejen con la correcta disciplina tecnológica.

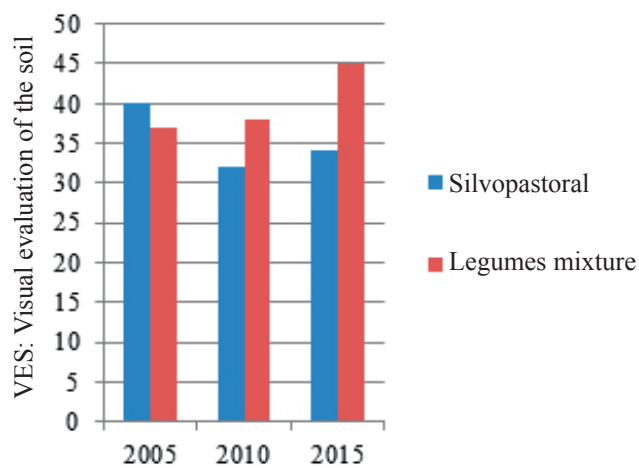


Figure 1. Soil quality index according to Shepherd *et al.* 2006

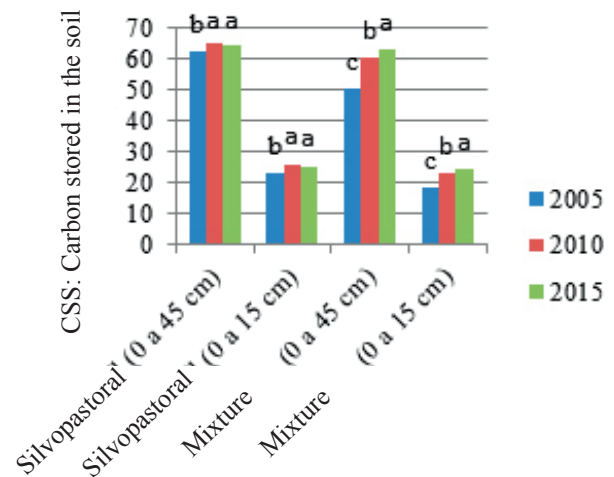


Figure 2. Performance of the CSS.

References

- Alonso, C. 1997. Influencia de tres sistemas de cultivos en algunas propiedades físicas de los suelos Ferralíticos Rojos. Master Thesis. Facultad de Agronomía. ISCAH. La Habana. Cuba. p.112.
- Anon. 2001. Diversidad. Calculador de los índices de diversidad biológica. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/journal>. Consulted: 24/10/03.
- AOAC, 1995. Official methods of analysis. 15 ed. Washington: Association of Official Agricultural Chemists. 1298 p.
- Borrelli P., F. Boggio, P. Sturzenbaum, M. Paramidani, R. Heinken, C. Pague, M. Stevens, A. Nogués. 2013. Estándar para la regeneración y la sustentabilidad de los pastizales (GRASS). Ed. M. Garvey & N. Dudinszky. Segunda Edición. Título Original en Inglés: GRASS. Grassland Regeneration and Sustainability Standard. Traducción al Español: Carmina C. Botasso. P:109. Available: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/nr/sustainability_pathways/docs/GRASS%20espanol.pdf. Consulted: 26/6/2017
- Boschi, F., Latorre, P., Saldanha, S., Machado, J., Bentancur & O., Moure S. 2016. Importancia de las semillas duras en leguminosas forrajeras producidas en Uruguay. *Agrociencia Uruguay*. 20 (2): 43-50. versión On-line ISSN 2301-1548. Available: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482016000200007&lng=es.
- Duncan, D. B. 1955. "Multiple range and multiple F. tests". *Biometrics*. 11. 1.
- Ferreras, L.A., Costa, J.L., García, F.O. & Pecoral, C. 2000. "Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina". *Soil Till. Res.* 54 (1-2). 31-39.
- Fjellberg, A. 1998. *Fauna Entomológica Scandinavica*. Vol 35. The collembola of Fennoscandia and Denmark. Part I: Poduromorfa. Brill. Netherlands. p. 184.
- Haydock, K. P. & Shaw, N. H. 1975. "The comparative yield method for estimations dry matter yield of pasture". *Aust. J. Exp. Agr. Anim. Husb.* 15: 663.
- Hernández, L. 1999. Fitomasa Subterránea en un Pastizal de *Paspalum notatum*, en la Sierra del Rosario, Cuba. Master Thesis. IES, Cuba
- Hernández, A., Pérez, J.M., Bosch, D. & Castro, N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN: 978-959-7123-77-7. Cuba. 91 p.
- Huss, D. H., Bernandon, A., Anderson, D. y Brun, J.M. 1996. En: Principios de manejo de praderas naturales. FAO. INTA. Chile. 156 p.
- InfoStat software estadístico. 2008. InfoStat versión 2008. Manual de usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Kaurichev, A. 1984. Prácticas de edafología. Ed. Mir, Moscú. p-269.
- Lok, S. 2010. "Sustainability indicators to study grasslands". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 44 (4) 327-335
- 't Mannetje, L. & Haydock, K.P. 1963. "The dry weight with rank method for the botanical analysis of pasture". *J. Brit. Grassld. Soc.* 18:268.
- Martín, N. J. & Cabrera, R. 1987a. Determinación de la estabilidad estructural. Método del tamizado en seco y en húmedo. En: Manual de actividades prácticas de suelos. Ed. Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de La Habana. La Habana, Cuba, p.236.
- Martín, N. J. & Cabrera, R. 1987b. Determinación de la composición mecánica (textura) del suelo mediante la utilización del hidrómetro (método de Booyocus). En: Manual de actividades prácticas de suelos. Ed. Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de La Habana. La Habana, Cuba, p.224.
- Martín, N. J. / Cabrera, R. 1987c. Determinación de la microestructura del suelo mediante la utilización del hidrómetro (método de Booyocus). En: Manual de actividades prácticas de suelos. Ed. Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de La Habana. La Habana, Cuba, p.226.
- Martín, N. J. / Cabrera, R. 1987d. Determinación de la humedad de los suelos. En: Manual de actividades prácticas de suelos.

- Ed. Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de La Habana. La Habana, Cuba, p.211.
- Martín, N. J. & Cabrera, R. 1987e. Determinación de la plasticidad de los suelos por el método de Atterberg. En: Manual de actividades prácticas de suelos. Ed. Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de La Habana. La Habana, Cuba, p.234.
- Mbagwu, J.S.C., Lal, R. & Scout, T.W. 1983. "Physical properties of three soils in Southern Nigeria". Soil Sci. 136: 48-55.
- McVay, K.A. & Rice, C.W. 2002. Soil organic carbon and the global carbon cycle. Kansas State University. Available: <http://www.oznet.ksu.edu>. [Consulted: 20/11/2007]
- Menéndez, J., Susana Vega & Tang, M. 1993. Comportamiento de leguminosas tropicales asociadas a *Andropogon gayanus* comparadas con cinco gramíneas sometidas a pastoreo y bajos niveles de fertilización. I. Suelo Ferralítico Rojo. Revista Pastos y Forrajes. 16:1. ISSN:2878-8452.
- Miranda, T., Machado, R., Machado, H. & Duquesne, P. 2007. "Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica". Estudio de caso. Pastos y Forrajes 30:483 ISSN: 2878-8452
- Murgueitio, E., Barahona, R., Chará, J.D., Flores, M. X., Mauricio, R.M. & Molina, J. 2015. "The intensive silvopastoral systems in Latin America sustainable alternative to face climatic change in animal husbandry". Cuban Journal of Agricultural Science, 49 (4): 541.
- Olivares-Pérez, J., Avilés-Nova, F., Albarrán-Portillo, B., Rojas-Hernández, S., & Castelán-Ortega, O. A. (2011). Identificación, usos y medición de leguminosas arbóreas forrajeras en ranchos ganaderos del sur del Estado de México. Tropical and subtropical agroecosystems, 14(2), 739-748. Recuperado en 18 de abril de 2016, de <http://www.scielo.org.mx/scielo.php>
- Oniani, O.G. 1964. Determinación del fósforo y potasio del suelo en una misma solución de los suelos Krasnozen y Podzólicos en Georgia. Agrojima 6:25.
- Paneque, V. 1965. En: Manual de prácticas de suelo. Univ. de La Habana. p.25.
- Quiñónez, J.J., Gutiérrez, U.N., Valencia, C.M. & Martínez, J.J. 2004. Relaciones suelo-vegetación en un sitio de sabana en el noreste de Durango. XVI Congreso Latinoamericano y XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Conferencia. Simposio 1. Trabajo 06. Cartagena de Indias. Colombia, p. 64.
- Roca, A. J., Vera, J.C., Guevara, R.V., Ana María Flores de Valgas, Brito Donoso, F., Guevara, G & Soto, S. 2014. "Efecto del por ciento de leguminosas, tiempo de reposo y calidad estimada del pastizal en respuesta productiva de vacas lecheras en pastoreo". Rev. Prod. Anim: 26 (1) ISSN 2224-7920.
- Shepherd, G., Stagnari, F, Pisante, M & Benites, J. 2006. Visual assessment-Fiel guide for anual crops. Food and Agricultural Organisation of United Nations. Rome. 14 p.
- Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy, 11th edition, Washington, DC, Natural Resources Conservation Service, USDA. 330p. 2006.
- Springett, J. 1981. "A new method for extracting earthworm from soil crow, with comparison of four commonly used methods for estimating earthworm population". Pedobiología. 21: 216.
- Visauta, B. 1998. Análisis estadístico con SPSS para WINDOWS. Estadística multivariada. Vol II. Mc Graw-Hill/Interamericana de España, S.A.V. 358p.
- Walkley, A. & Black, A. 1934. "An examination of the Degtjoreff method for determination soil organic matter, and a proposed codification of the chromic acid titration method". Soil Sci. 37:29

Received: January 7, 2017