

## Determinación y selección de indicadores en un pastizal basado en la mezcla múltiple de leguminosas rastreras con vacunos en ceba

Sandra Lok, Crespo, G., Torres, Verena, Ruiz, T., Fraga, S. y Noda, Aida  
*Instituto de Ciencia Animal, Apartado postal 24, san José de las Lajas, Mayabeque, Cuba*  
 Correo electrónico: *slok@ica.co.cu*

En un pastizal basado en la mezcla de leguminosas rastreras (*Pueraria phaseoloides*, *Macroptilium atropurpureum* y *Neonotonia wightii*) para la ceba de ganado vacuno en desarrollo, se determinó el comportamiento de indicadores del suelo y el pasto durante tres años consecutivos y se seleccionaron aquellos que mejor reflejan su estabilidad. Mediante el análisis de componentes principales, se obtuvieron tres grupos de indicadores: vegetación, físico-químicos y biológicos del suelo. Se escogieron aquellos con valor de preponderancia mayor que  $\pm 0.78$  y que explicaron, al menos, 65 % de la varianza acumulada. En la vegetación, se estudiaron 37 indicadores y se seleccionaron 9, entre los que estuvieron: la cobertura vegetal, el suelo descubierto, la densidad del pasto base, la presencia de pastos naturales y la composición botánica. De los 71 indicadores del suelo, se seleccionaron ocho de los físico-químicos, en los que el índice de plasticidad, la distribución de agregados en húmedo y en seco, la estabilidad estructural, el valor n y la resistencia a la penetración tuvieron el mayor aporte a la variabilidad del sistema; mientras que, de los indicadores biológicos, se seleccionaron también ocho en los que la fitomasa subterránea, la macrofauna y la mesofauna tuvieron su mayor aporte. El pastizal progresó en el tiempo por el incremento de la población del pasto base (*Neonotonia wightii*) de 11.2 a 34.4 plantas m<sup>-2</sup> y por su estabilidad en la disponibilidad de biomasa, la que no tuvo diferencias entre años para cada época climática, con valores de 2.69 y 3.76 t MS ha<sup>-1</sup> para las épocas poco lluviosa y lluviosa, respectivamente. Además, hubo mejora de sus características edáficas que se manifestó en la distribución de agregados en seco menores de 1 mm de diámetro y el índice de plasticidad, los que disminuyeron con el tiempo de explotación del sistema. En este estudio, se presentan tablas con rangos de valores de confianza para los indicadores propuestos, que podrán servir como herramientas útiles, confiables y sensibles para conocer los cambios que ocurren en este tipo de pastizal y que se podrán usar en la investigación, la docencia y la producción.

Palabras clave: *indicadores, estabilidad, leguminosas, pastizal.*

La inclusión de las leguminosas en los pastizales es una práctica de manejo fundamental para la activación de la fijación biológica del nitrógeno, debido a que bacterias heterótrofas del género *Rhizobium* se asocian en estructuras de nódulos fijadores de nitrógeno, que contribuyen de manera fundamental a la fertilidad del suelo.

El empleo de leguminosas asociadas con gramíneas puede producir, entre otras manifestaciones, el ahorro de fertilizante nitrogenado, agua, energía y concentrados (Ruiz *et al.* 2001). Sin embargo, su uso se ha visto limitado por la persistencia de estas plantas en los pastizales (Ríos 2002 y Ruiz *et al.* 2003). Esta persistencia se puede lograr mediante el manejo adecuado del pastoreo y dependerá del conocimiento de cómo ese manejo influye en la supervivencia de la planta y, por tanto, en la producción de biomasa.

Por otra parte, aunque tradicionalmente se ha generalizado el uso de pastizales basados en asociaciones de gramíneas-leguminosas, son varios los estudios que, por sus alentadores resultados, intentan recomendar el fomento de pastizales con predominio de leguminosas. En este sentido, Norman y Stewart (1964) encontraron aumentos crecientes de peso vivo de animales al elevar el porcentaje de *Stylosanthes humilis* de 23 a 63 % en el pastizal y Sánchez (2005) indicó que se lograron aumentos de 275 hasta 550 kg ha<sup>-1</sup> de peso vivo en bovinos cuando las leguminosas *Lotononis bairesii*, *Desmodium spp.* y *Trifolium repens* se incrementaron en la composición botánica del pastizal desde 13 hasta 30 %.

Otro de los factores que ha favorecido la utilización de las leguminosas en los pastizales es su alto valor nutritivo. Así, Minson (1991) indicó porcentajes de proteína bruta que variaron desde 5.6 para *Stylosanthes humidis* hasta 35.8 % para las partes más hojosas de *Leucaena leucocephala*, con un porcentaje promedio de 17.2 para todas las leguminosas evaluadas. Estos valores de proteína son superiores a los encontrados en las gramíneas tropicales, las que, según Butterword (1967), suelen ser 7.7 %, como promedio. Por ello, la presencia de leguminosas en el pastizal debe elevar el contenido de este indicador en la mezcla y servir como complemento de las gramíneas en este sentido. También, los valores de fibra bruta son menores en las leguminosas, las que promedian 30.6 %, en contraste con 33.4 % en las gramíneas (Minson 1991). Por su parte, se han señalado contenidos de fósforo que varían entre 0.06 % en *Stylosanthes humilis* (Guayadeen 1951) y 0.65 % en *Pueraria phaseoloides* (Blasco y Bohórquez 1968), mientras que el calcio es mucho mayor en las leguminosas y supera muchas veces las necesidades normales del ganado vacuno.

A pesar de todo este conocimiento, no se reportan en la literatura los indicadores y los valores de estos que mejor permitan dar seguimiento al comportamiento de pastizales basados en el predominio de leguminosas rastreras. Contar con ellos puede constituir una herramienta de manejo eficaz para controlar y prever los cambios que suceden en estos sistemas. De aquí que, el objetivo de este trabajo fue determinar el

comportamiento de indicadores del suelo y el pasto durante tres años consecutivos en el pastizal basado en la mezcla de leguminosas rastreras (*Pueraria phaseoloides*, *Macroptilium atropurpureum* y *Neonotonia wightii*) para la ceba de ganado vacuno en desarrollo y seleccionar aquellos que mejor reflejan su estabilidad.

### Materiales y Métodos

El estudio se realizó durante tres años. En este período, no se realizaron labores culturales tales como: fertilización, riego, renovación o rehabilitación, control de plagas y rotación. Se suministraron alimentos suplementarios para cubrir los requerimientos de los animales, según el balance alimentario. Este pastizal ocupa un área total de 6 ha, dividida en 8 cuarterones de 0.75 ha cada uno y comenzó a explotarse ininterrumpidamente desde el año 1994 y mantuvo una composición botánica con más de 60 % de la mezcla inicial de leguminosas, que estaba compuesta por *Stylosantes spp*, *Desmodium spp*, *Pueraria phaseoloides* (kudzú), *Macroptilium atropurpureum* (siratro) y *Neonotonia wightii* (glycine), en la que prevaleció glycine, kudzú y siratro en la medida que fueron disminuyendo las otras especies.

Se mantuvo una carga animal de 2 animales ha<sup>-1</sup> y el ganado fue de las razas Cebú y Charol. La duración media de cada ceba fue de 65 d, con un peso promedio inicial de 214 kg y un peso promedio final de 270 kg, que conllevó a una ganancia media de 861 g animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. 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.

El área del pastizal se encuentra situada en un suelo Fersialítico Pardo rojizo mullido eútrico (Hernández *et al.* 1999) sobre caliza margoza, que mostró indicios de buena fertilidad, buena permeabilidad, buen desarrollo radical, pH neutro y gran actividad biológica, que se manifestó por la abundancia de raíces y numerosos organismos de la fauna edáfica presentes en el momento de estudiar su perfil. Se observó, además, una abundante capa de hojarasca y una cobertura del pastizal entre 97 y 99 %. El pastizal parece beneficiar al suelo ya que, a pesar de sus características propias, no se observó signo de erosión y tenía buena estructura.

#### Indicadores evaluados

##### Vegetativos

- Composición botánica.
- Disponibilidad de biomasa.
- Altura del pasto.
- Composición química.
- Frecuencia de aparición de las especies.
- Densidad por especie.
- Cobertura vegetal y suelo desnudo.
- Aparición y muerte de especies.
- Puntos de enraizamiento.
- Biodiversidad (N, E, S, H').

Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 45, Número 1, 2011.

#### Edáficos

##### Físicos:

- Textura.
- Estabilidad estructural (distribución de los agregados en seco y en húmedo).
- Coeficiente de estructura en húmedo (CE) y en seco (K).
- Microestructura.
- Compactación.
- Humedad natural y humedad higroscópica.
- Valor n
- Índice de plasticidad, límite inferior de plasticidad y límite superior.

Químicos: N, P, Ca, Mg, pH, Materia orgánica.

##### Biológicos:

- Composición y biomasa de la mesofauna y de la macrofauna.
- Fitomasa subterránea.
- Biodiversidad (N, E, S, H') de la fauna edáfica.

*Procedimiento.* En la época lluviosa del año 2001, se realizó la evaluación de la composición botánica y de la cobertura del suelo, que sirvió para seleccionar dos cuarterones representativos del comportamiento del sistema. Esta selección se realizó a partir del análisis de los estadígrafos de dispersión para la composición botánica (X media, DS y CV) y para la cobertura del suelo (DS), de modo que se seleccionaron aquellos cuarterones con los valores de estos estadígrafos más cercanos a la media.

La composición botánica se determinó en 80 marcos ha<sup>-1</sup> distribuidos al azar en cada cuarterón, mediante el método de t' Mannelje y Haydock (1963), mientras que la disponibilidad de biomasa se determinó por el método de Haydock y Shaw (1975) dos veces por estación climática. Se midió también la altura del pasto disponible y se tomó una muestra representativa del pastizal en cada marco de muestreo, a la que se le determinó la composición de FND, FAD, lignina, celulosa, PB, cenizas, P y Mg, según AOAC (1995).

La frecuencia, densidad, cobertura y composición de especies, se calcularon según la metodología propuesta por Huss *et al.* (1996). En cada caso, estos indicadores se determinaron en marcos de .25 m<sup>2</sup> distribuidos cada 15 pasos por la diagonal del cuarterón, que representaron entre 5 y 9 marcos por cuarterón. El suelo descubierto se calculó, en cada punto muestreado, según el área de suelo sin ninguna cubierta vegetal. La cobertura vegetal se identificó como el porcentaje de área cubierta por la porción aérea de las plantas.

Los puntos de enraizamiento de las leguminosas se determinaron dos veces por estación climática, y se tomaron cinco puntos de muestreo y en cada uno de ellos se cogieron dos estolones a los que se les midió este indicador.

Para el estudio del suelo, en cada cuarterón seleccionado, se abrió una calicata de 1.30 m de ancho x 2.0 m de

Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 45, Número 1, 2011.

largo x 1.0 m de profundidad. Para la determinación de los indicadores agrofísicos y agroquímicos, se tomaron dos muestras inalteradas a las profundidades de 0 a 15, 16 a 30 y más de 30 cm. Se determinó el pH en cloruro (potenciométrico), la materia orgánica (Walkley y Black, citado por Jackson 1958), el nitrógeno (AOAC 1995), el fósforo (Oniani 1964) y el calcio y el magnesio (Maslova, citado por Paneque 1965).

El tamizado en seco, el tamizado en húmedo y la estabilidad estructural se realizaron según el método de Savinov (Martín y Cabrera 1987a). La textura y la microestructura se obtuvieron por el método de Bouyucous (Martín y Cabrera 1987b y 1987c). La compactación se midió por la técnica del penetrómetro, mientras que el índice de plasticidad y los límites inferior de plasticidad (LIP) y el límite superior de plasticidad (LSP) se determinaron según Martín y Cabrera (1987d).

Se calcularon el coeficiente de estructura en húmedo (CE), el coeficiente de estructura en seco (K) y las condiciones concretas del suelo para admitir una carga de ganado dada (Valor N), según las siguientes fórmulas:

Estabilidad Estructural (ES) (Kaurichev 1984)

$$ES = \frac{\sum \% \text{ Agregados } < 0.25 \text{ mm (Th)}}{\sum \% \text{ Agregados } > 0.25 \text{ mm (Ts)}}$$

Coeficiente de estructura en húmedo (CE) (Kaurichev 1984)

$$CE = \frac{\sum \% \text{ Agregados } < 0.25 \text{ mm}}{\sum \% \text{ Agregados } > 0.25 \text{ mm}}$$

Donde

Th: tamizado en húmedo

Ts: tamizado en seco

Coeficiente de estructura en seco (K) (Mbagwu *et al.* 1983)

$$K = \frac{\sum \% \text{ Agregados de } 0.25 \text{ a } 10 \text{ mm}}{(\text{Agregados } > 10 \text{ mm}) + (< 0.25 \text{ mm})}$$

Condiciones concretas del suelo para admitir una carga de ganado dada (Valor n) (Alonso 1997)

$$\text{Valor n} = \frac{A - (0.2 * R)}{L + 3 H}$$

Donde:

A: % humedad natural del suelo

R: % limo + % arena

L: % arcilla

H: % Materia orgánica

Los indicadores biológicos del sistema suelo-planta se midieron dos veces por estación climática, mientras que los agroquímicos y agrofísicos se midieron anualmente, una vez estabilizada la época lluviosa.

La macrofauna en las profundidades de 0 a 10 y de 11 a 20 cm del suelo se determinó en tres marcos por cuartón distribuidos completamente al azar, según metodología propuesta por Springett (1981). Por su parte, la mesofauna se muestreó mediante el

uso de cilindros con base cortante, con volumen de 106.76 cm<sup>3</sup> (8.5 cm de longitud y 4 cm de diámetro). Para ello, se tomaron 3 puntos por cuartón, a las profundidades de 0 a 7 cm, de 7 a 14 cm y de 14 a 21 cm. Los individuos se extrajeron por el método de embudos Berlesse-Tullgren, procedimiento empleado desde 1920 según Fjellberg (1998). La fitomasa subterránea se determinó por el método descrito por Hernández *et al.* (1998).

La determinación de los indicadores que mejor explican el comportamiento de cada pastizal se realizó mediante la metodología descrita por Torres *et al.* (2003) para seleccionar los indicadores que mejor explican su variabilidad. La selección de los indicadores se hizo para cada grupo analizado (vegetación, físico-químico y biológico del suelo). En éstos, se escogieron a aquellos que definieron a las componentes principales que más aportaron a la explicación de su variabilidad y las que fueron capaces, en su conjunto, de explicar, al menos, 65 % de la varianza de los mismos. En los análisis multivariados de componentes principales, para mayor precisión, se seleccionaron los indicadores que presentaron valor de preponderancia igual o mayor a  $\pm 0.78$ . El valor de cada indicador seleccionado se calculó a partir del mejor valor obtenido, desde el punto de vista agronómico, para un intervalo de confianza con 95 % de probabilidad. Estos pueden servir de guía para el control de la estabilidad de cada pastizal.

Se empleó el paquete estadístico InfoStat (2001) para efectuar el análisis de varianza y, en todos los casos, se empleó un diseño completamente aleatorizado.

## Resultados y Discusión

*Comportamiento de los indicadores de la vegetación.* La determinación y selección de los indicadores vegetativos se realizó a partir de 37 indicadores; de los cuales se escogieron 12, que permitieron describir su comportamiento. El análisis multivariado (tabla 1) determinó cinco componentes principales que explicaron, en su conjunto, el 87.3 % de la varianza, pero, de las que se seleccionaron para la explicación del comportamiento de la vegetación, solamente las tres primeras, que explicaron el 73.4 % de la varianza del sistema.

La componente principal uno se denominó "densidad de las leguminosas rastreras", explicó 41.8 % de su varianza y las variables que mejor explicaron su variabilidad fueron la densidad de la glycine, la cobertura vegetal, el suelo desnudo, la densidad y la frecuencia de aparición de *M. atropurpureum* (siratro) y la disponibilidad de biomasa.

La densidad de glycine aumentó al transcurrir el tiempo de explotación del pastizal. Esta especie tuvo 100 % de frecuencia de aparición en todos los muestreos,

Tabla 1. Análisis de componentes principales de los indicadores seleccionados en el pastizal de mezcla de leguminosas rastreras.

Indicador	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Suelo desnudo	-0.84	0.27	0.05	0.05	0.70
Cobertura de la vegetación	-0.85	0.00	-0.15	0.06	0.07
% de gramíneas	-0.28	0.09	-0.92	-0.01	-0.03
% de leguminosas	0.09	-0.18	0.94	0.02	0.06
Densidad de <i>Neonotonia wightii</i> (glycine)	-0.90	0.03	0.06	0.09	0.06
Densidad de <i>Xanthium chinese</i> (guizazo)	0.03	-0.57	0.16	0.23	0.21
Densidad de <i>Pueraria phaseoloides</i> (kudzú)	-0.09	0.91	-0.02	0.37	-0.22
Densidad de <i>Sida acuta</i> (malva)	0.57	0.02	0.28	0.19	0.03
Densidad de <i>Macroptilious atropurpureum</i> (siratro)	0.87	0.34	0.22	-0.07	-0.01
Disponibilidad de biomasa	-0.84	0.13	0.33	0.08	0.15
FND	0.66	-0.04	0.53	0.09	0.12
Frecuencia de <i>Bouchea prismática</i> (berbena)	-0.22	0.23	0.01	0.87	-0.02
Frecuencia de <i>N. wightii</i> (glycine)	-0.83	-0.34	-0.23	0.08	-0.00
Frecuencia de <i>Cynodon sp.</i> (yerba fina)	-0.10	-0.81	0.34	-0.01	0.12
Frecuencia de <i>P. phaseoloides</i> (kudzú)	0.27	0.93	0.00	0.12	-0.09
Frecuencia de <i>S. acuta</i> (malva)	0.74	-0.05	0.22	0.22	0.04
Frecuencia de <i>X. chinese</i> (guizazo)	0.063	-0.03	0.09	0.89	-0.02
Frecuencia de siratro	0.87	0.35	0.23	-0.07	-0.38
Contenido de P	0.23	0.23	0.79	-0.12	0.01
Contenido de PB	-0.12	0.28	-0.53	-0.37	0.05
Puntos de enraizamiento	0.11	0.05	-0.24	0.32	0.89
Valor propio	8.3	3.6	2.6	1.4	1.0
Varianza explicada (%)	41.8	18.4	13.2	7.4	6.5
Varianza acumulada (%)	41.8	60.2	73.4	80.8	87.3

CP1: Densidad de las leguminosas rastreras.

CP2: Competencia entre kudúz y yerba fina.

CP3: Composición botánica del pastizal.

CP4: Presencia de malezas.

CP5: Puntos de enraizamiento de las leguminosas rastreras.

excepto durante la época poco lluviosa de 2002, y su densidad de plantas varió de 11.2 al inicio del estudio hasta 34.4 plantas m<sup>-2</sup> en la estación lluviosa del último año, lo que la llevó a ser la especie dominante en la composición botánica del pastizal, con valores superiores a 56 %. Un comportamiento inverso presentó el kudúz (*P. phaseoloides*), que decreció con el tiempo, mientras el siratro (*M. atropurpureum*) desapareció del pastizal. Estas especies constituían importante proporción en la mezcla de leguminosas perennes al inicio del estudio. La desaparición de siratro del sistema estuvo relacionada con los problemas de manejo que ocurrieron por la pérdida, durante un mes, de la cerca perimetral de los cuarterones, debido al paso de un ciclón en octubre de 2001 y a la intensa sequía ocurrida en estos años. Por su parte, la glycine mantuvo su estabilidad en el tiempo e incluso incrementó su densidad y logró mantener la productividad de biomasa del pastizal, ya que constituía la principal especie presente en el mismo. Esto se reflejó en el comportamiento del indicador disponibilidad de biomasa, el que no tuvo diferencias entre años para cada época

climática, con valores de 2.69 y 3.76 t MS ha<sup>-1</sup> para las épocas poco lluviosa y lluviosa, respectivamente. Además, el sistema se caracterizó por la alta cobertura vegetal que estuvo entre 98 y 100 %, para la época poco lluviosa y lluviosa, respectivamente, y presentó 3 y 1 % de suelo desnudo para cada una de estas estaciones climáticas.

Los resultados indicaron que la glycine fue la especie que mejor caracterizó el pastizal. Su comportamiento dinámico mostró que, a pesar de las fluctuaciones en su composición botánica el pastizal mostró estabilidad productiva, en lo que debió influir el adecuado manejo durante los tres años evaluados.

En este sentido, Vera *et al.* (2005), en estudios de multiasociación de gramíneas y leguminosas, encontraron que de las leguminosas sembradas, glycine mantuvo el mayor porcentaje en el pastizal, pero con un marcado comportamiento estacional, con valores más altos en la época poco lluviosa. Además, encontraron que las leguminosas en su conjunto predominaron con respecto a las gramíneas con porcentajes superiores a 56 % en la época poco lluviosa.

Ruiz *et al.* (2001) plantearon que la persistencia de cualquier leguminosa, mediante un manejo adecuado del pastoreo, depende del conocimiento que se tiene de cómo este manejo afecta la supervivencia de la planta y por tanto, su producción de biomasa.

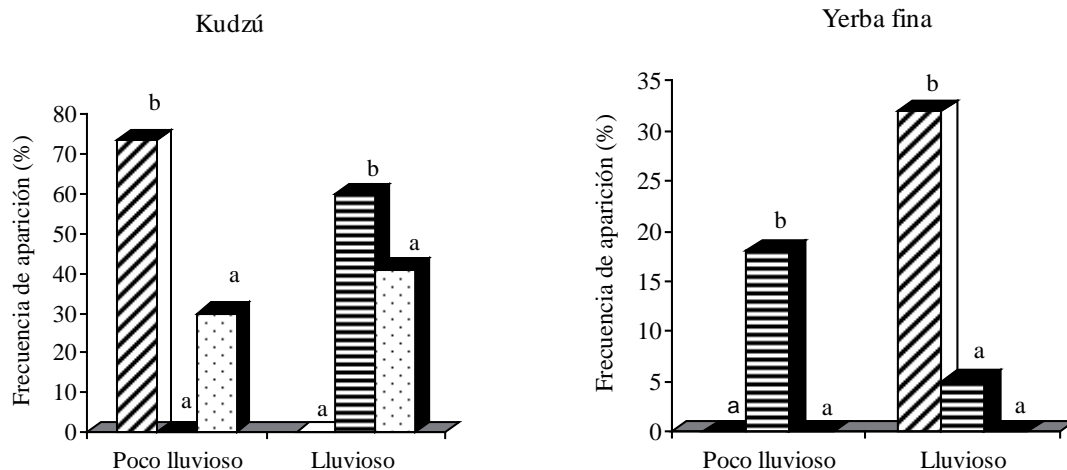
No son muchos los experimentos que abordan el estudio de las leguminosas como pasto base en los sistemas ganaderos influidos por la poca persistencia encontrada en estudios iniciales. Sin embargo, estos resultados y los encontrados por Ruiz *et al.* (2001) indicaron que con un manejo adecuado, estas especies son capaces de perdurar en el tiempo y mantener su predominio en la composición botánica, con un incremento paulatino de su producción de biomasa. Los resultados indicaron que la densidad de glycine puede servir de indicador para caracterizar su estado productivo y controlar la evolución del sistema.

La componente principal dos que se definió como “competencia entre kudzú y yerba fina”, explicó 18.4 % de la varianza y se describió por la correlación inversa entre los indicadores frecuencia y densidad de kudzú y la frecuencia de yerba fina (tabla 1). Hubo tendencia a que estas dos especies fueran excluyentes una de la otra

(figura 1) y se denotó mayor frecuencia de aparición de kudzú, siempre que apareció en el pastizal (entre 73 y 33 %) y con tendencia a la disminución paulatina de su presencia con el incremento del tiempo de explotación del sistema, lo que mostró que aunque persiste tras nueve años en explotación continua, no tuvo estabilidad en su presencia; mientras, la yerba fina sólo estuvo entre 30 y 5 % en cuanto a frecuencia de aparición.

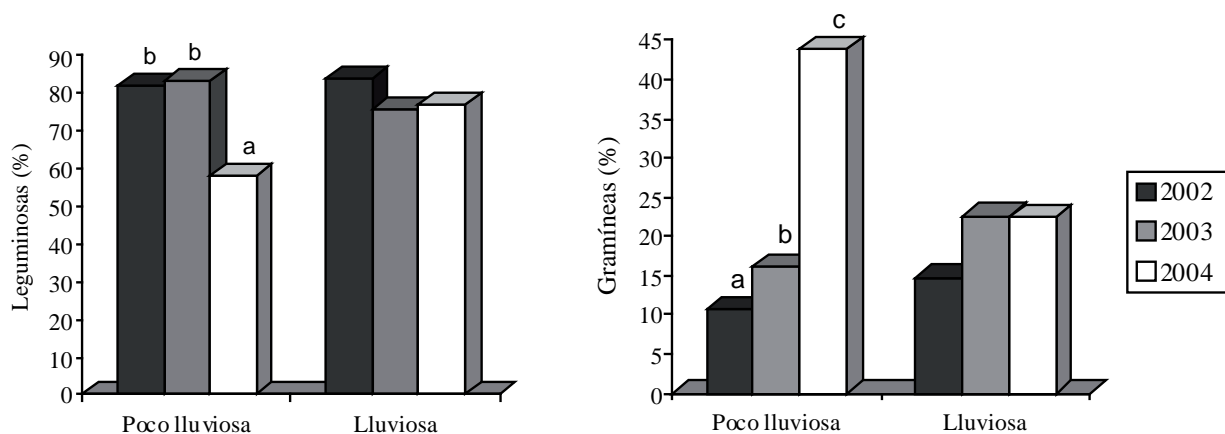
Por su parte, la componente principal tres que se denominó “composición botánica del pastizal”, explicó 13.2 % de la varianza y estuvo caracterizada por la correlación inversa entre los indicadores porcentaje de gramíneas y de leguminosas (tabla 1 y figura 2).

Las gramíneas que estuvieron presentes en el pastizal pertenecen al género *Cynodon* (*C. nlemfuensis*, *C. dactylon* y *Cynodon spp.*). Estas especies se incrementaron ( $P < 0.001$ ) entre años, en la época poco lluviosa, con valores desde 10.7 hasta 44 %, sin diferencias en la época lluviosa. Por su lado, las leguminosas se comportaron estables en el período poco lluvioso en los primeros dos años, y representaron entre 81 y 83 % de la composición botánica. Sin embargo, decrecieron significativamente ( $P < 0.001$ ) hasta 57 % en 2004 (figura 2), sin diferencias



<sup>ab</sup> Letras diferentes entre columnas difieren significativamente a  $P < 0.05$  (Duncan 1955)

Figura 1. Comportamiento de kudzú y de yerba fina en el pastizal de mezcla de leguminosas rastreras.



<sup>abc</sup> Letras diferentes entre columnas difieren significativamente a  $P < 0.05$  (Duncan 1955)

Figura 2. Comportamiento de las leguminosas y las gramíneas en el pastizal de mezcla de leguminosas rastreras

en la época lluviosa. Estos resultados indicaron que, a pesar del incremento de las gramíneas, las leguminosas predominaron y se mantuvieron en el pastizal durante el período evaluado, lo que posibilitó mantener la estabilidad productiva del mismo y la tendencia a su persistencia en el tiempo.

La disminución de las leguminosas en la estación poco lluviosa del último año debió estar relacionada con los mayores requerimientos de humedad del suelo que el de las gramíneas (Ovalle *et al.* 2005), por lo que su crecimiento decrece en dicho período y se tornan vigorosas con el comienzo de las lluvias. El decrecimiento significativo en el año 2004 también pudo estar relacionado con la intensa sequía que ocurrió en esta etapa.

Como se comprobó, la composición botánica es útil para caracterizar la situación del comportamiento de la vegetación en el pastizal y es el resultado del

manejo a que fue sometido, por lo que puede constituir un indicador eficaz y fundamental para controlar su funcionamiento. Según Costa *et al.* (2002) y Allue *et al.* (2001), la composición florística es indicativa o no de la degradación de los pastizales, ya que existe una estrecha relación entre la composición botánica, la disponibilidad de biomasa y el porcentaje de utilización del pasto. En este caso en que las leguminosas se mantienen de manera estable en el pastizal se logró que la disponibilidad de biomasa no variara significativamente entre años.

*Comportamiento de los indicadores edáficos.*

*Grupo 1: Indicadores físicos y químicos del suelo:*

De 48 variables medidas se seleccionaron 9, que quedaron agrupadas en tres componentes principales que explicaron 61.4 % de su varianza (tabla 2).

La componente principal uno se denominó "Índice de plasticidad" y explicó 28.8 % de su varianza y las variables que mejor describieron la varianza de esta

Tabla 2. Análisis de componentes principales de los indicadores seleccionados en el suelo el pastizal con mezcla de leguminosas rastreras

Indicador	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
CE	-0.12	0.04	0.02	-0.03	-0.07	-0.97
RP (de 20 a 30 cm de profundidad)	0.24	-0.22	0.88	0.06	0.08	0.01
RP (de 30 a 40 cm de profundidad)	0.16	-0.21	0.90	0.05	0.06	0.00
RP (de 40 a 50 cm de profundidad)	0.22	-0.29	0.85	-0.01	0.11	0.06
Estabilidad estructural	0.15	-0.07	0.07	-0.01	0.07	0.95
Índice de Plasticidad	0.94	0.11	0.03	-0.03	-0.05	0.00
Límite Inferior de Plasticidad	-0.28	-0.26	0.14	0.75	0.26	0.22
Límite Superior de Plasticidad	0.66	-0.10	0.15	0.58	0.17	0.18
Magnesio	-0.00	-0.01	-0.54	0.07	-0.19	0.02
Materia orgánica	-0.47	-0.43	-0.23	0.29	0.24	0.21
Nitrógeno	-0.36	-0.28	-0.25	0.37	0.39	0.21
Valor n	0.02	0.26	0.06	0.89	0.00	-0.12
TH (agregados entre 1 y 5 mm)	-0.29	0.69	-0.51	-0.12	-0.09	0.01
TH (agregados entre 0.2 y 0.5 mm)	0.05	0.93	-0.09	0.16	0.15	-0.01
TH (agregados menores de 1 mm)	-0.05	0.86	-0.36	-0.04	0.00	-0.26
TH (agregados entre 2 y 3 mm)	-0.58	0.42	-0.01	-0.03	-0.51	0.11
TH (agregados entre 3 y 4 mm)	-0.26	-0.08	-0.41	-0.14	-0.00	0.35
TH (agregados mayores de 5 mm)	0.27	-0.78	0.43	0.07	0.08	0.10
TH (agregados menores de 0.2 mm)	0.00	0.95	-0.07	0.18	0.06	0.05
TS (agregados mayores de 10 mm)	-0.19	0.23	0.16	0.20	0.88	0.02
TS (agregados entre 2 y 3 mm)	0.74	-0.28	0.28	-0.34	-0.06	0.20
TS (agregados entre 3 y 5 mm)	-0.16	-0.02	-0.31	0.00	-0.86	-0.19
TS (agregados entre 1 y 5 mm)	0.38	0.07	-0.64	-0.20	-0.49	0.02
TS (agregados menores de 1 mm)	0.92	-0.21	0.07	-0.03	-0.00	0.09
Humedad natural	-0.16	0.10	-0.06	0.91	0.03	-0.03
Valor propio	8.0	5.2	3.8	2.8	2.1	1.4
Varianza explicada (%)	28.8	18.8	13.9	10.2	7.7	5.2
Varianza acumulada (%)	28.8	47.5	61.4	71.6	79.3	84.4

CP1: Índice de plasticidad. CP4: Valor n. RP: Resistencia a la penetración. CP2: Distribución de los agregados en húmedo. CP5: Distribución de los agregados en seco TS: Tamizado en seco. CP3: Resistencia a la penetración. CP6: Estabilidad estructural. TH: Tamizado en húmedo

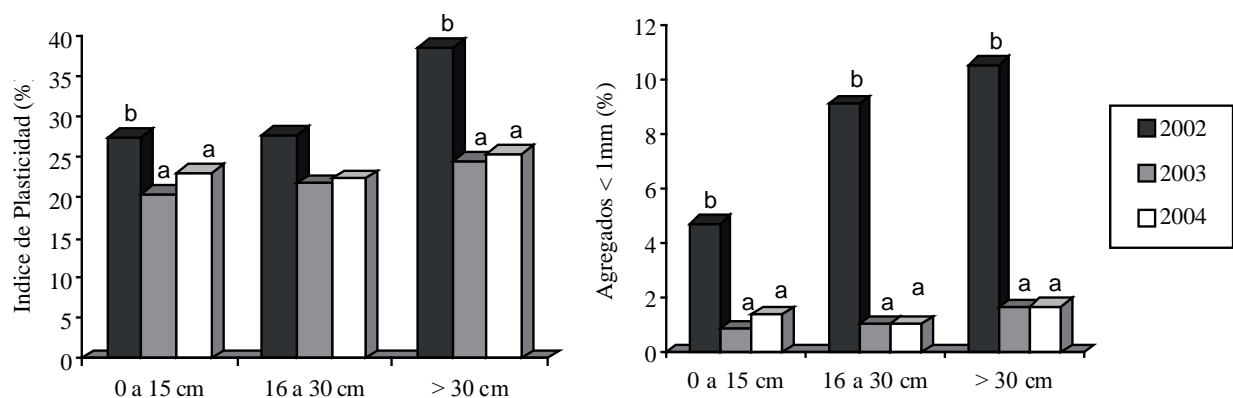
componente fueron la distribución de agregados en seco menores de 1 mm de diámetro y el índice de plasticidad. Ambos indicadores (figura 3) disminuyeron con el incremento del tiempo de explotación del sistema, debido, al parecer, al incremento de la materia orgánica (tabla 3) y a la actividad biológica en general. Estos suelos con carbonatos de calcio y poco profundos, generalmente, pueden poseer bajo límite de plasticidad (Hernández *et al.* 1999). Con la disminución del índice plástico, las probabilidades de manejo y uso del suelo son mejores, porque se espera que con ello el suelo se haga más friable y, por tanto, aumente su tiempo de tempero. En la profundidad de 16 a 30 cm, aunque no hubo diferencia significativa, se apreció también una mejora agronómica.

La componente principal dos se definió como “distribución de agregados en húmedos”, que explicó 18.8 % de su varianza y, en este caso, se describió por los indicadores: agregados mayores de 5 mm de diámetro, entre 1 y 2 y menores de 1 (figura 4). En estos últimos se destacaron los menores de 0.2 mm. Los agregados mayores de 5 mm y entre 1 y 2 mm de diámetro se caracterizaron por diferir significativamente entre años para la profundidad de 0 a 15 cm, aunque su valor numérico evidenció cambios, que desde el punto de vista agronómico, señalaron modificaciones estructurales positivas, a pesar de existir en este estrato un predominio de agregados mayores de 5 mm, lo que pudo estar relacionado con las arcillas esmectitas (2:1), que

de forma natural conforman agregados estables de mayor tamaño (Hernández *et al.* 1999). Por su parte, los agregados menores de 1 mm mostraron una disminución en este estrato que indicó también su mejora estructural.

Para las otras profundidades se evidenció una mejora consecutiva del suelo debido a la disminución de los agregados mayores de 5 mm de diámetro (desde 75 hasta 3 % en la profundidad de 16 a 30 cm y desde 74.7 hasta 2 % en la profundidad mayor de 30 cm) y un incremento de los agregados entre 1 y 2 mm, los que aumentaron ( $P < 0.001$ ) desde 2.3 hasta 33.4 % en la profundidad de 16 a 30 cm y desde 2.4 hasta 51 % en la profundidad mayor de 30 cm. Este comportamiento se pudo deber a que en ese estrato ocurre disminución del contenido de arcillas y aumento del carbonato de calcio, los que contribuyen a la mejora de la friabilidad del suelo.

Espinosa (2004) y Betancourt *et al.* (2005) coinciden al plantear que el uso de las leguminosas contribuye a la mejora del contenido de materia orgánica del suelo, lo que condiciona la mejor distribución de agregados y la estimulación de la actividad microbiana, ya que la oclusión física de los componentes orgánicos puede determinar la accesibilidad de los mismos para los organismos del suelo (Aguilera *et al.* 2004 y Hernández *et al.* 2004). A su vez, Hadas *et al.* (2004) afirma que la dinámica de la materia orgánica puede ser evaluada con mayor precisión, cuando se analizan individualmente fracciones de diferentes tamaños.



<sup>ab</sup> Letras diferentes entre columnas para cada profundidad difieren significativamente a  $P < 0.05$  (Duncan 1955)

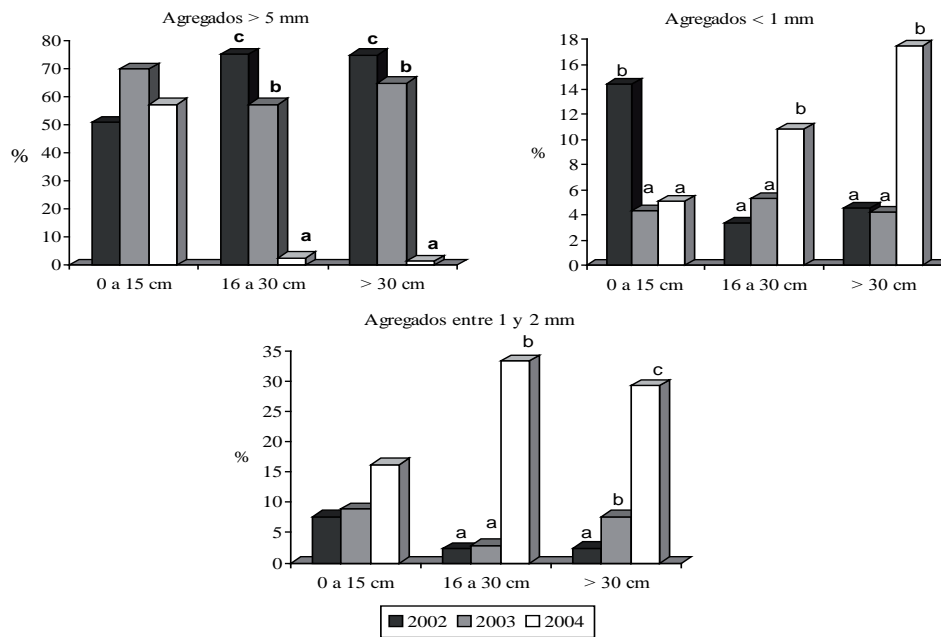
Figura 3. Comportamiento del índice de plasticidad y los agregados menores de 1 mm de diámetro en el pastizal de mezcla de leguminosas rastreras

Tabla 3. Comportamiento de la materia orgánica en el pastizal de mezcla de leguminosas rastreras

Indicador	Profundidad	Años			ES(±) y Sign
		2002	2003	2004	
Materia Orgánica (%)	0 a 15 cm	3.06 <sup>a</sup>	4.22 <sup>c</sup>	3.89 <sup>b</sup>	0.01 **
	16 a 30 cm	2.85 <sup>a</sup>	2.80 <sup>a</sup>	3.93 <sup>b</sup>	0.34 *
	Más de 30 cm	1.87 <sup>a</sup>	2.00 <sup>a</sup>	2.65 <sup>b</sup>	0.20 *

<sup>ab</sup>Medias con letras diferentes entre filas difieren significativamente a  $P < 0.05$  (Duncan 1955)

\*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$



abc Letras diferentes entre columnas difieren significativamente a  $P < 0.05$  (Duncan 1955)

Figura 4. Comportamiento de los agregados del tamizado en húmedo en el pastizal de mezcla de leguminosas rastreras

Velázquez *et al.* (2004) plantearon que el tipo de vegetación pudo influir en la dinámica de la distribución de agregados en húmedo y en las formas orgánicas del suelo y las leguminosas pueden tener un efecto positivo mayor en este sentido.

La componente principal tres se nombró “resistencia a la penetración”, que explicó 13.3 % de la varianza y se caracterizó por el comportamiento del indicador de mismo nombre en las profundidades de 20 a 30, de 30 a 40 y de 40 a 50 cm (tabla 4). En ninguno de los años, ni en las profundidades analizadas, este indicador alcanzó valores críticos (2 Mpa), con tendencia general a disminuir, lo que favorece el mejor desarrollo del sistema radical y manifestó que el tipo de pastizal y el manejo aplicado contribuyeron a la disminución significativa de la compactación.

*Grupo 2: Indicadores biológicos del suelo:*

En el caso de los indicadores biológicos se seleccionaron de 28 solamente 8, que quedaron agrupados en las tres primeras componentes principales que explicaron 71.8 % de su varianza. En la tabla 5 se muestra el análisis de componentes principales para los indicadores biológicos del suelo.

La “fitomasa subterránea” tuvo un comportamiento dinámico que generó dos componentes principales: la componente principal uno que explicó 45.6 % de la varianza y donde las variables que representan a este indicador en los estratos entre 28 y 56 cm de profundidad fueron las que mejor explicaron la variabilidad del sistema y la componente principal cuatro que explicó 7.8 % de la varianza, donde las variables ubicadas entre 0 y 14 cm de profundidad (figura 5) fueron las que mayor peso tuvieron en la explicación de dicha variabilidad.

Entre las variables ubicadas entre 28 y 56 cm de profundidad la de mayor peso fue la fitomasa subterránea entre 35 y 42 cm, la que para ambas épocas estacionales no mostró diferencias entre los dos primeros años con valores de aproximadamente  $0.47 \text{ g } 100 \text{ cm}^{-3}$  de suelo en la época poco lluviosa y  $0.40 \text{ g } 100 \text{ cm}^{-3}$  en la lluviosa. Sin embargo, evidenció un incremento ( $P < 0.001$ ) en el tercer año de hasta  $1.7 \text{ g } 100 \text{ cm}^{-3}$  en ambas épocas.

En la profundidad de 0 a 14 cm (de 0 a 7 y de 7 a 14 cm), aunque tuvo un menor peso en la explicación de la varianza del sistema con respecto a los indicadores

Tabla 4. Comportamiento de la resistencia a la penetración (Mpa) en el pastizal de mezcla de leguminosas rastreras.

Profundidad	Años			ES(±) y Sign
	2002	2003	2004	
20 a 30 cm	1.58 <sup>b</sup>	1.58 <sup>b</sup>	0.96 <sup>a</sup>	0.09 **
30 a 40 cm	1.63 <sup>b</sup>	1.68 <sup>b</sup>	1.00 <sup>a</sup>	0.18 **
40 a 50 cm	1.84 <sup>v</sup>	1.84 <sup>b</sup>	1.08 <sup>a</sup>	0.12 ***

<sup>ab</sup> Medias con letras diferentes entre filas difieren significativamente  $P < 0.05$  (Duncan 1955)

\*\*\*  $P < 0.001$     \*\*  $P < 0.01$



Tabla 5. Análisis de componentes principales para los indicadores biológicos del suelo en el pastizal de mezcla de leguminosas rastreras.

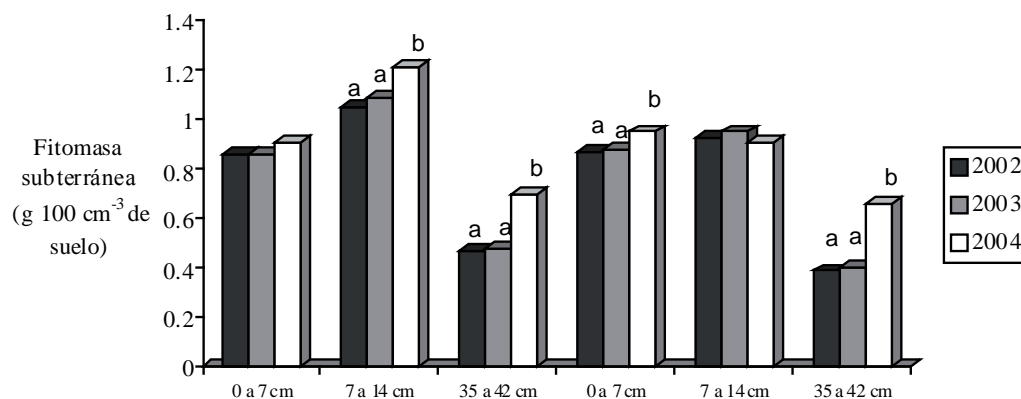
Indicador	CP1	CP2	CP3	CP4
Ácaros	-0.39	0.82	-0.01	0.17
Gastrópodos (babosas)	0.12	0.01	0.77	-0.20
Fitomasa subterránea de 0 a 7 cm	-0.14	0.13	-0.16	0.81
Fitomasa subterránea de 28 a 35 cm	0.84	-0.35	-0.15	0.31
Fitomasa subterránea de 35 a 42 cm	0.90	-0.35	-0.04	-0.08
Fitomasa subterránea de 42 a 49 cm	0.86	-0.42	-0.09	-0.07
Fitomasa subterránea de 49 a 56 cm	0.87	-0.18	-0.04	-0.06
Fitomasa subterránea de 7 a 14 cm	0.10	-0.26	0.03	0.85
Gallegos	0.01	-0.32	-0.60	-0.27
Otros insectos de la mesofauna	-0.40	0.81	0.15	-0.21
Larvas de coleópteros	-0.48	0.22	0.66	0.09
Total de individuos de la mesofauna	-0.42	0.86	0.11	-0.12
Biomasa de la macrofauna m <sup>-2</sup>	-0.25	-0.18	0.56	-0.26
Valor propio	5.9	1.9	1.4	1.0
Varianza explicada (%)	45.6	14.9	11.2	7.8
Varianza acumulada (%)	45.6	60.5	71.8	79.6

CP1: Fitomasa subterránea de 28 a 56 cm

CP3: Comportamiento de la macrofauna

CP2: Comportamiento de la mesofauna

CP4: Fitomasa subterránea entre 0 y 14 cm.



<sup>ab</sup> Letras diferentes entre columnas difieren significativamente a  $P < 0.05$  (Duncan 1955)

Figura 5. Comportamiento de la fitomasa subterránea en el pastizal de mezcla de leguminosas rastreras

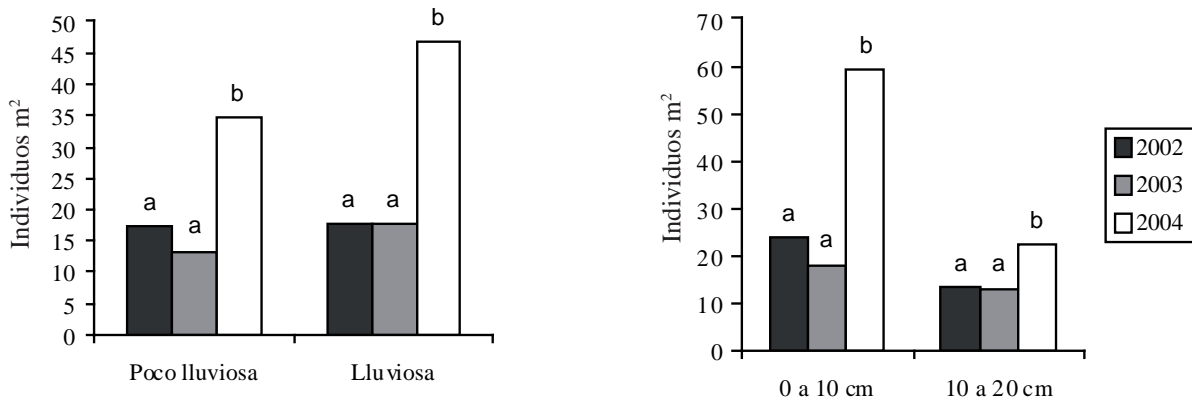
biológicos, también se constató un aumento de la fitomasa en el tercer año de evaluación. En el período poco lluvioso, este ascenso estuvo dado por la fitomasa subterránea entre 7 y 14 cm, la que fue hasta  $1.21 \text{ g } 100 \text{ cm}^{-3}$  y en el período lluvioso la fitomasa entre 0 y 7 fue la responsable debido a su incremento hasta  $0.95 \text{ g } 100 \text{ cm}^{-3}$ . Este comportamiento se pudo deber a que en la primera época las raíces tienden a expandirse a mayor profundidad en busca de una mayor humedad, la que se debe incrementar en esta dirección y en la segunda época como superficialmente debe existir adecuada humedad, el efecto del colchón de hojarasca de las leguminosas debe aumentar y las raíces se deben desarrollar más en este estrato.

En el pastizal se apreció, de forma general, una tendencia al incremento de la fitomasa subterránea en ambas épocas estacionales, lo que fue más marcado en la capa entre 28 y 56 cm de profundidad e indicó

la mayor dinámica y presencia de raíces a capas más profundas del suelo. Esto constituye una señal del posible incremento de la actividad biológica en éstas, aspecto beneficioso porque debe indicar también incremento en la profundidad efectiva del suelo y es en si mismo un indicador de la mejora ecológica, que debió repercutir también en la productividad del sistema y su estabilidad.

La componente dos se denominó “comportamiento de la mesofauna”, que explicó 14.9 % y se describió mediante los indicadores total de individuos de la mesofauna, otros insectos y ácaros. Los tres indicadores manifestaron incrementos significativos tanto para cada época, como para cada profundidad entre años (figura 6), lo que evidenció la tendencia significativa al aumento de la mesofauna en el pastizal.

La componente principal tres se denominó “comportamiento



<sup>ab</sup> Letras diferentes entre columnas de un mismo indicador difieren significativamente a  $P < 0.05$  (Duncan 1955)

Figura 6. Comportamiento del total de individuos de la mesofauna en el pastizal de mezcla de leguminosas rastroeras

de la macrofauna”, que explicó 11.2 % de la varianza y los indicadores que la definieron fueron los Gastrópodos (babosas) los cuales tuvieron gran variabilidad en su presencia en el sistema a lo que se le adjudicó su selección, pero que impidió realizar un análisis estadístico entre años para épocas y profundidades. Al analizar los géneros presentes, se evidenció que en este pastizal y al igual que en las anteriores, las lombrices (figura 7) fueron las que mayor representatividad tuvieron, con un incremento entre años para ambas profundidades. Estos organismos tuvieron un decrecimiento en el año 2003 para posteriormente, en el siguiente año incrementarse, lo que se pudo relacionar con la disminución de las precipitaciones en el año 2003, que debió determinar una consecuente disminución en la humedad del suelo y, por lo tanto, afectar la cantidad de individuos presentes.

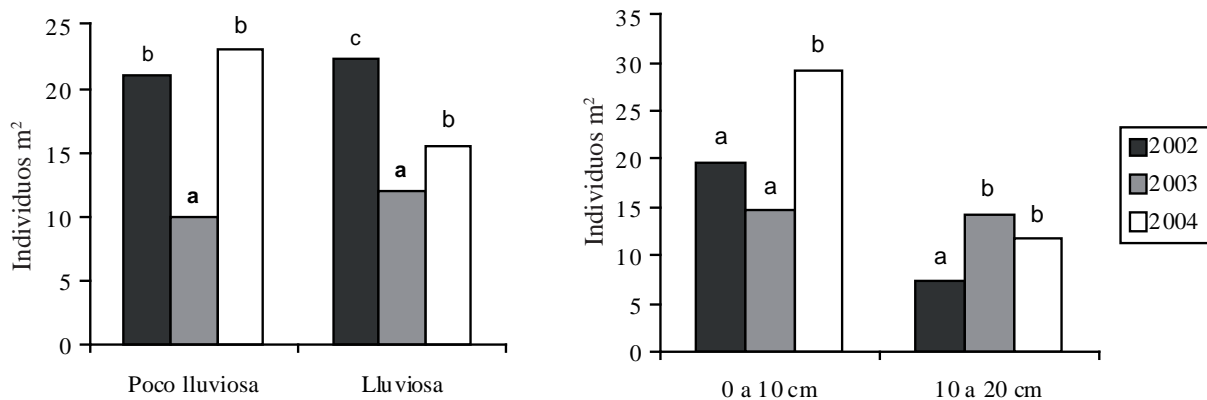
De manera general, en este pastizal, la variabilidad de la vegetación estuvo dada, fundamentalmente, por la densidad de las leguminosas, las que estuvieron representadas principalmente por la especie *Neonotonia wightii*. En este pastizal, la cobertura vegetal, el área de suelo desnudo, la disponibilidad de biomasa en el pastizal y el número de puntos de enraizamiento se incrementaron con el tiempo de explotación y señalaron sus posibilidades de persistir en el tiempo. La competencia entre el kudzú y la yerba fina mostró que la primera tuvo mayor frecuencia de aparición (entre 73 y 33 %) pero con tendencia a disminuir paulatinamente con el tiempo de modo que, aunque persistió durante los 9 años de explotación continuada, no se

mantuvo de manera estable en el pastizal.

Los resultados señalan que los indicadores físicos del suelo mostraron valores adecuados y mejoraron aún más con el tiempo de explotación. Acerca de esto, el índice de plasticidad, los agregados en seco menores de 1 mm de diámetro, los agregados en húmedo y la resistencia a la penetración entre 20 y 50 cm, resultaron los indicadores de mayor aporte a su variabilidad. Por su parte, la fitomasa subterránea entre 28 y 56 cm de profundidad, la mesofauna y la macrofauna fueron los indicadores biológicos del suelo con mayor peso en su varianza y también, en este caso, sus valores progresaron favorablemente en el tiempo e influyeron positivamente en el comportamiento, durante el período evaluado, de la diversidad biológica de la fauna edáfica.

Al parecer, el componente vegetal de este tipo de pastizal influyó en la mejora del suelo y en este sentido, las leguminosas parecen haber tenido una activa participación. Este efecto pudo estar relacionado con el incremento del contenido de materia orgánica y la actividad biológica que se logra en el suelo donde se desarrollan estas plantas, aunque también el alto contenido de carbonato de calcio, así como la poca profundidad efectiva que caracterizaron al tipo de suelo existente, influyeron en estos resultados.

A partir de todo lo anteriormente expresado y considerando que hubo componentes principales que explicaron solo bajos valores de la variabilidad de cada pastizal y que no aportaron



<sup>abc</sup> Letras diferentes entre columnas difieren significativamente a  $P < 0.05$  (Duncan 1955)

Figura 7. Comportamiento de las lombrices en el pastizal de mezcla de leguminosas rastroeras.

Tabla 6. Rangos de valores que indican estabilidad para los indicadores seleccionados en un intervalo de confianza de 95 % de probabilidad

Componente	Indicador	Época	Valores	
Vegetación	Densidad de glycine (plantas m <sup>2</sup> )	Poco lluviosa	22.19 – 22.80	
		Lluviosa	34.22 – 34.57	
	Cobertura vegetal (%)	Poco lluviosa	99.59 – 99.66	
		Lluviosa	99.78 – 99.81	
	Suelo desnudo (%)	Poco lluviosa	2.40 – 2.49	
		Lluviosa	0.32 – 0.41	
	Disponibilidad de biomasa (t MS ha <sup>-1</sup> )	Poco lluviosa	2.64 – 3.49	
		Lluviosa	3.45 – 4.44	
	Densidad de kudzu (plantas m <sup>2</sup> )	Poco lluviosa	6.89 – 7.10	
		Lluviosa	11.68 – 11.91	
	Frecuencia de kudzu (%)	Poco lluviosa	72.89 – 73.10	
		Lluviosa	59.91 – 60.08	
	Gramíneas (%)	Poco lluviosa	10.70 – 10.79	
		Lluviosa	14.70 – 14.83	
	Leguminosas (%)	Poco lluviosa	83.24 – 83.33	
Lluviosa		77.16 – 77.31		
Suelo (físicos-químicos)	Índice de plasticidad (%)	0 a 15	18.35 – 22.54	
		16 a 30	16.19 – 25.50	
		> de 30	24.17 – 26.72	
	Agregados en seco < 1 mm (%)	0 a 15	0.78 – 0.85	
		16 a 30	0.92 – 1.03	
		> de 30	1.57 – 1.68	
	Agregados en húmedo < 1mm (%)	0 a 15	5.32 – 5.47	
		16 a 30	3.74 – 3.85	
		> de 30	4.04 – 4.15	
	Agregados en húmedo > 5 mm (%)	0 a 15	50.00 – 50.19	
		16 a 30	3.40 – 3.59	
		> de 30	3.04 – 3.15	
	Agregados en húmedo entre 1 y 2 mm (%)	0 a 15	18.30 – 18.41	
		16 a 30	32.50 – 32.69	
		> de 30	30.02 – 30.17	
	Resistencia a la penetración (Mpa)	20 a 30	0.78 – 1.13	
		30 a 40	0.64 – 1.35	
		40 a 50	0.84 – 1.31	
	Suelo (biológicos)	Fitomasa subterránea de 35 a 42 cm (g 100 cm <sup>-3</sup> )	Poco lluviosa	0.61– 0.78
			Lluviosa	0.59 – 0.72
		Ácaros (Individuos, m <sup>2</sup> )	Poco lluviosa	12.82 – 15.17
Lluviosa			14.19 – 17.16	
0 a 10 cm			20.30 – 22.33	
Insectos (Individuos, m <sup>2</sup> )		10 a 20 cm	6.98 – 9.65	
		Poco lluviosa	17.64 – 18.35	
		Lluviosa	27.58 – 28.41	
Total de individuos de la mesofauna (Individuos, m <sup>2</sup> )		0 a 10 cm	34.82 – 37.17	
		10 a 20 cm	8.82 – 11.17	
		Poco lluviosa	33.34 – 36.01	
Himenópteros (Individuos, m <sup>2</sup> )		Lluviosa	44.19 – 47.16	
		0 a 10 cm	57.90 – 60.09	
		10 a 20 cm	21.45 – 23.18	
		Poco lluviosa	14.19 – 17.80	
	Lluviosa	21.65 – 22.90		
	0 a 10 cm	28.35 – 30.24		
	10 a 20 cm	10.50 – 12.85		

nuevos elementos para caracterizar su condición, es por lo que se decantaron los indicadores que las definieron. Por ello, se seleccionaron solamente los indicadores de las componentes principales que en su conjunto y según su orden en el análisis, fueron capaces de explicar, debido a su porcentaje de varianza explicada, más del 61% de la varianza de los pastizales (ver tablas 1, 2 y 5). Esto ocurrió al escoger las tres primeras componentes principales.

Para el mejor entendimiento de los resultados y con el objetivo de que constituyan herramientas prácticas de trabajo, tanto para investigadores como productores, en el control de la evolución de este tipo de pastizales, se calcularon los rangos de confianza, en que deben encontrarse cada uno de los indicadores seleccionados (tabla 6).

Como se puede apreciar, los indicadores vegetativos son los que más fácilmente pueden ser medidos para dar seguimiento del funcionamiento de los pastizales ya que permiten conocer su efecto ecológico y productivo, debido a constituir un reflejo del estado del suelo. Los indicadores edáficos, aunque dan información valiosa acerca del funcionamiento integral del sistema suelo-pasto, son más difíciles de medir y determinar analíticamente, por lo que para productores deberá ser engorroso y poco práctico. Sin embargo, para la investigación y la docencia, el empleo integral del grupo de indicadores seleccionados, puede viabilizar y facilitar el desarrollo de futuras investigaciones, debido a que evitaría la medición del gran grupo de indicadores decantados, que aportarían poco a la explicación de la varianza de estos pastizales, según se manifestó en este estudio.

Por otra parte, contar con estas tablas de rangos de valores de estabilidad productiva del sistema suelo-pasto, puede brindar una herramienta eficaz para el manejo correcto de estos pastizales, ya que mediante la medición sistemática de estos indicadores y su comparación con estos rangos, puede evitarse el deterioro de los pastizales, por la detección oportuna de cambios adversos y garantizar de este modo, su persistencia en el tiempo y productividad duradera.

Se concluye que los indicadores de mayor aporte a la varianza total en el pastizal con mezcla de leguminosas rastreras ubicado en un suelo Fersialítico Pardo rojizo fueron: a) de la vegetación: la densidad de las leguminosas, la frecuencia de aparición y densidad del kudzú, frecuencia de aparición de la yerba fina y la composición botánica (porcentaje de leguminosas y gramíneas); b) del suelo: el Índice de plasticidad, la distribución de agregados en seco menores de 1 mm de diámetro, la distribución de agregados en húmedo, la resistencia a la penetración de 20 a 50 cm de profundidad, el comportamiento de la fitomasa subterránea entre 28 y 56 cm de profundidad, el total de individuos de la mesofauna y la macrofauna.

El pastizal mostró progreso favorable en todas las

propiedades edáficas, que se manifestó en el incremento de la fertilidad general y estabilidad en el sistema suelo-pasto.

Los indicadores seleccionados permitieron caracterizar la dinámica del sistema suelo-pasto en el pastizal estudiado y pueden constituir una herramienta útil para que productores e investigadores controlen su grado de estabilidad.

Se recomienda divulgar e incorporar los resultados de este trabajo en la investigación, la docencia y la producción, ampliar el tiempo de estudio de este sistema para validar los indicadores seleccionados y utilizar los indicadores seleccionados y las tablas de rangos de valores propuestas, para darle seguimiento al comportamiento del sistema suelo-pasto en pastizales en explotación, como vía para evitar la pérdida de su productividad y estabilidad.

### Referencias

- Aguilera, M.P., Veléz, B.E., Flórez, C. & Varela, A. 2004. Efecto de la cobertura vegetal sobre la diversidad de grupos funcionales bacterianos en el Departamento del Quindío (Colombia). XVI Congreso Latinoamericano y XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Simposio 21. Trabajo 08. Cartagena de Indias. Colombia. p.150
- Allue, J.R., Cacho, E.M., Miguel, J.A., Asenjo, B. & Ciria, J. 2001. Estudio de la composición botánica y utilización de los pastizales en Monte Valonsadero (Soria). XLI Reunión Científica de la SEEP. I Foro Iberoamericano de Pastos. Alicante. España. p. 195
- Alonso, C. 1997. Influencia de tres sistemas de cultivos en algunas propiedades físicas de los suelos Ferralíticos Rojos. Tesis presentada en opción al grado de Maestro en Ciencias. Facultad de Agronomía. ISCAH. La Habana. Cuba. p. 112
- AOAC 1995. Official methods of analysis. 15 ed. Washington: Association of Official Agricultural Chemists. 1298 p.
- Betancourt, P., González, J., Figueroa, B. & González, F. 2005. Organic matter and soil characterization during restoration processes with cover crop on temperate areas of México. Disponible: <<http://www.chapingo.mx/terra/contenido/art139148.pdf>> [Consultado: 1/4/05]
- Butterworth, M.H. 1967. The digestibility of tropical grasses. Nutr. Abst. Rev., 37: 349
- Costa, M., Gutiérrez, J.C., Hernando, J., Hernando, I., Martín, M. & Moreno, M. 2002. Indicadores edáficos, vegetales y microbianos (ciliados colpódidos) de procesos de desertificación. Anales de Biología 24:175
- Espinosa, Y. 2004. Calidad de la materia orgánica bajo diferentes prácticas de manejo en un suelo ácido tropical. Rev. Fac. Agron. (Luz) 21:126
- Estrada, J. 2004. Principales especies de gramíneas, leguminosas y arvenses. En: pastos y forrajes para el trópico colombiano. Ed. Escobar, L. F. Univ. de Caldas, Colombia. p.319
- Fjellberg, A. 1998. Fauna entomológica Scandinavica. Vol 35. The Collembola of Fennoscandia and Denmark. Part I: Poduromorfa. Brill. Netherlands. p. 184.
- Guayadeen, K.D. 1951. A note on some promising legume forages. Trop. Agric. (Trin.), 28:231
- Hadas, A., Kautsky, L., Goek, M. & Kara, E.E. 2004. Rates

Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 45, Número 1, 2011.

- of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. *Soil Biology and Biochemistry*. 36:255
- 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, A., Pérez, J. M., Bosch, D., Rivero, L., Camacho, E., Ruiz, J., Salgado, E.J., Marsán, R., Obregón, A., Torres, J.M., González de la Torre, J. E., Orellana, R., Paneque, J., Nápoles, P., Fuentes, E., Duran, J.L., Peña, J., Cid, G., Ponce de León, D., Hernández, M., Frometa, E., Fernández, L., Carcés, N., Morales, M., Suárez, E., Martínez, E. & Ruiz de León, J.M. 1999. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Ministerio de la Agricultura. La Habana. 26 p.
- Hernández, C.L., Ramos, I., Rodríguez, M.P. & López, D. 2004. Efecto de enmiendas orgánicas sobre algunos parámetros bioquímicos y la estructura gremial de comunidades bacterianas en un suelo bajo manejo agrícola. XVI Congreso Latinoamericano y XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Simposio 21. Trabajo 13. Cartagena de Indias. Colombia. p. 152
- Hernández, L. 1999. Fitomasa Subterránea en un Pastizal de *Paspalum notatum*, en la Sierra del Rosario, Cuba. Tesis de Máster en Ecología y Sistemática. IES.
- Hernández, L., Sánchez, J.A. & Lazo, J. 1998. Caracterización espacial de la biomasa subterránea en pastizales del Instituto de Ciencia Animal. *Acta botánica. Rev Botánica de Cuba*. IES. No. 116
- Huss, D.H., Bernandon, A., Anderson, D. & Brun, J.M. 1996. Principios de manejo de praderas naturales. FAO. INTA. Chile. 156 p.
- InfoStat 2001. Software estadístico. Manual de usuario. Versión 1. Córdoba, Argentina.
- Jackson, M. L. 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice hall. Englewood cliffs.
- Kaurichev, A. 1984. *Prácticas de edafología*. Ed. Mir, Moscú. p. 269
- 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 Booyoucus). 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 Booyoucus). 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 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
- Minson, D.J. 1991. Composición química y valor nutritivo de las leguminosas tropicales. En: *Leguminosas forrajeras tropicales*. Ed. P.J. Skerman, D.G. Camereon y F. Riveros. FAO. Roma, Italia. p: 211-219
- Norman, M.J.T. & Stewart, G.A. 1964. Investigations on the feeding of beef cattle in the Katherine region. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 30:39
- Oniani, O.G. 1964. Determinación del fósforo y potasio del suelo en una misma solución de los suelos Krasnozen y Podsólicos en Georgia. *Agrojima* 6:25
- Ovalle, C.M., de Pozao, A., Arredondo, S. & Chavarria J. 2005. Growth and production of new annual forage legumes in the Mediterranean zone of Chile. Species performance in the Andean foothills. *Agricultura Técnica (Chile)* 65:35
- Paneque, V. 1965. *Manual de prácticas de suelo*. Univ. de La Habana. p. 25
- Ríos, A. 2002. Dinámica y control de *Cynodon dactylon* en sistemas mixtos de siembra directa y laboreo convencional. Disponible: <<http://inia.org.uy/publicaciones/documentos/le/pol/2002/informe-27.pdf>> [Consultado: 10/07/05]
- Ruiz, T. E., Febles, G. & Alonso, J. 2003. Potencial para la producción de biomasa en sistemas con leguminosas perennes. II Foro Latinoamericano de Pastos y Forrajes. La Habana, Cuba. [CD-ROM]
- Ruiz, T.E., Febles, G. & Díaz, H. 2001. Evaluation of trees for increasing plant diversity in silvopastoral Systems. International Symposium on Silvopastoral Systems. 2nd Congress on Agroforestry and Livestock Production in Latin America. CATIE. Costa. Rica. p. 100
- Sánchez, A. 2005. Leguminosas como potencial forrajero en la alimentación bovina. Disponible: <<http://www.ceniap.gov.ve/publica/divulga/leguminosas.htm>> [Consultado: 10/07/05]
- 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
- Manetteje, L. & Haydock, K.P. 1963. The dry weight with rank method for the botanical analysis of pasture. *J. Brit. Grassld. Soc.* 18:268
- Torres, V., Mederos, R.E. & Lizazo, D. 2003. Sistema de información y metodología estadística multivariada para medir el impacto de la innovación y la transferencia tecnológica. XV Forum de Ciencia y Técnica. Instituto de Ciencia Animal. La Habana. Cuba
- Velásquez, E., Ruiz, N. & Lavelle, P. 2004. Soil macrofauna as indicator of soil quality. XIV International Colloquium on Soil Zoology and Ecology. Session 7. Functional groups and valuation as indicators of soil fauna. Abstracts. p. 231
- Vera, M., Escobar, G. & Rippstein, G. 2005. Agroecología y Biodiversidad de las sabanas. En: *Agroecología y Biodiversidad*. Disponible: <<http://www.agroecologia.net/agroecologia/agroecologiaybiodiver.pdf>> [Consultado: 15/02/05]

**Recibido: 30 de marzo de 2010**