

Niveles de cobertura arbórea de un sistema silvopastoril y sus efectos en algunas propiedades físicas y biológicas del suelo

Yusmary Espinoza*, José Gil, Néstor Obispo y Lesly Malpica

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Maracay, Aragua. Venezuela.

RESUMEN

Con el objetivo de cuantificar el efecto de diferentes niveles de cobertura arbórea sobre algunas características físicas y biológicas de un suelo ubicado en el estado Yaracuy, Venezuela, se seleccionaron cuatro potreros con cuatro niveles de cobertura: 35, 31, 23 y 5%. En muestras de suelo (15 por nivel de cobertura a dos profundidades, 0-5 y 5-15 cm) se determinó el carbono (C) y nitrógeno (N) de la masa microbiana, C y N potencialmente mineralizable y C y N total; además se determinó el N mineralizable y la población de lombrices en el campo. Los parámetros físicos medidos fueron densidad aparente, distribución de tamaño de poros, agregación de suelo y resistencia a la penetración, los cuales no mostraron una tendencia clara con respecto al efecto de los diferentes niveles de cobertura arbórea, pero sí con la profundidad de muestreo. Los mayores cambios en estos parámetros fueron observados donde la cobertura arbórea era 5%. Por otra parte, la masa microbiana de C y N del suelo incrementó cuando la cobertura arbórea fue de 31%, al igual que las fracciones lábiles de la materia orgánica. La mayor densidad de lombrices se encontró en el nivel de 31% de cobertura arbórea. Este estudio demostró que cuando la cobertura arbórea disminuye a 31%, los efectos sobre los parámetros biológicos y físicos parecen ser perjudiciales sobre la fertilidad de suelo, pero cuando el nivel de cobertura arbórea fue de 35% el efecto negativo se observó solo sobre los parámetros biológicos, pero no sobre los físicos ni sobre la concentración total de la materia orgánica.

Palabras clave: masa microbiana, materia orgánica, mineralización de carbono, mineralización de nitrógeno, lombrices de tierra.

Tree cover levels in a silvopastoral system and their effects on some physical and biological properties of the soil

ABSTRACT

To quantify the effect of different levels of tree cover on some physical and biological characteristics in a soil located in Yaracuy state, Venezuela, there were selected four paddocks with different levels of tree cover: 35, 31, 23, and 5%. Soil samples (15 per cover at two soil depths, 0-5 and 5-15 cm) were analyzed for carbon (C) and nitrogen (N) microbial biomass, C and N potentially mineralizable, and total C and N. Also, N mineralization and earthworm populations were determined in the field. The measured physical parameters were apparent density, pore size distribution, soil aggregation, and penetration resistance, which did not show a clear trend regarding the effect of different levels of tree cover, but with sampling depth. The biggest changes in these parameters were observed where tree cover was 5%. Moreover, soil microbial biomass increased when the tree coverage was 31%, similar to the fractions of labile organic matter. The highest density of earthworms was found at the cover level of 31%. This

*Autor de correspondencia: Yusmary Espinoza

E-mail: yespinoza@inia.gob.ve

study showed that when tree cover decreases from 31%, the effects on the biological and physical parameters appear to be detrimental on soil fertility, but when the level of tree cover was 35% the negative effect was only observed on biological parameters, but neither on the physical nor on the total concentration of organic matter

Key words: microbial biomass, carbon mineralization, nitrogen mineralization, organic matter, earthworms.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas silvopastoriles involucran la interacción de plantas leñosas perennes, la vegetación herbácea, el ganado y el suelo. Estos cuatro componentes se encuentran a su vez inmersos en un marco climático y regional, que junto con los aspectos sociales, económicos y culturales de los productores pueden modificar en gran medida la respuesta del sistema, otorgándole identidad propia y diferencial. Los árboles en las pasturas además de ofrecer forraje de buena calidad a los animales, especialmente si son leguminosas, pueden ser utilizados como barreras rompe vientos, controlar la erosión y mejorar la fertilidad de los suelos. Adicionalmente proporcionan leña, madera y frutos, permitiendo otros ingresos al productor (Giraldo, 1996).

En estos sistemas, la calidad y cantidad de la radiación solar que recibe el suelo es controlada por la densidad arbórea, que por su distribución temporal y espacial en el sistema, provoca cambios en el microclima debajo del árbol, así como en la humedad y temperatura del suelo. Estos factores afectan la materia orgánica (MO) y actividad biológica edáfica (micro y meso fauna). Concomitantemente también se afecta la estructura del suelo, capacidad de retención de agua y la estabilidad de los agregados del suelo (Basavaraju y Gururaja, 2000).

La MO del suelo puede ser vista como una mezcla de componentes biogénicos, la cual incluye las fracciones activas, lentas y pasivas. La fracción más activa representa aproximadamente 3% del carbono (C) total del suelo y está compuesta por la masa microbiana y materia orgánica soluble (Espinoza, 2004). La fracción lenta representa un 20-40% del C total del suelo (Elliott, 1986). Ambas fracciones activas y lentas son estimadas a través de la medida de masa microbiana y análisis cinéticos de mineralización en el laboratorio (Van Veen y Paul, 1981). La población microbiana es la que más rápidamente responde a los cambios y variaciones, no sólo microclimáticas, sino también a los cambios estructurales y químicos ocurridos en el suelo como consecuencia de la combinación de árboles o arbustos con pastos y animales (Sotomayor

et al., 2009), lo cual afecta directamente los procesos de mineralización e inmovilización de la materia orgánica del suelo (Gregorich *et al.*, 2006). Por otra parte, se ha demostrado que las lombrices de tierra son parte de la comunidad de organismos edáficos muy sensibles al manejo de suelo así como a los cambios en la cobertura y transformación de la vegetación (De Aquino *et al.*, 2008).

Los beneficios que aporta la incorporación de árboles y arbustos a los sistemas ganaderos han sido bien sustentados; sin embargo, se han realizado pocas investigaciones referentes a la cantidad de cobertura arbórea necesaria para un óptimo funcionamiento de los sistemas silvopastoriles. El objetivo del presente trabajo fue cuantificar el efecto de la cobertura arbórea sobre algunas características físicas y biológicas del suelo en un sistema silvopastoril.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en la agropecuaria Rancho Alegre, localidad Marín, Municipio San Javier, estado Yaracuy, Venezuela, con una superficie de 27,94 ha. La zona está localizada aproximadamente a 286 msnm y se caracteriza por una precipitación anual promedio de 924,6 mm y una temperatura media de 24,4°C. Los suelos son moderadamente bien drenados, fértiles, profundos, con texturas medias a ligeramente finas que fluctúan entre franco arenoso, franco y franco arcilloso y se clasifican como Alfisoles e Inceptisoles (Ovalles *et al.*, 2007).

Para la ubicación de las áreas de investigación dentro de la finca se utilizó la información obtenida a través de la imagen Ikonos del año 2006. Una vez determinada la superficie de copa de los árboles presentes se definió el nivel de cobertura arbórea de acuerdo a la superficie ocupada en cada potrero (Ovalles *et al.*, 2007). Para los fines de esta investigación se clasificaron como (porcentaje de cobertura arbórea y hectáreas se superficie ocupada): potrero I (35% y 7,31 ha), potrero II (31% y 5,45 ha), potrero III (23% y 8,6 ha) y potrero IV (5% y 8,4 ha).

Los puntos de muestreo (15 por potrero) fueron seleccionados por estudios de variabilidad espacial utilizando un muestreo sistemático en el horizonte A.

La vegetación arbórea está dominada por samanes (*Samanea saman* (Jacq.) Merrill), y la vegetación del pastizal dominada por los pastos guinea (*Panicum maximum* Jacq.) y estrella (*Cynodon nlemfluensis* Vanderyst) con 70 y 28% de cobertura, respectivamente.

Las muestras de suelo para el análisis de la masa microbiana, polisacáridos lábiles, C y nitrógeno (N) total y materia orgánica fueron colectadas usando un muestreador de mano Oakfield (2,26 cm de diámetro) de cada 0-5 y 5-15 cm de profundidad durante la época de lluvias. Las muestras de suelo de las diferentes profundidades fueron secadas, maceradas y pasadas a través de un tamiz de malla de 100 μm . Luego fueron fumigadas con HCl 12 Mc para la eliminación de carbonatos. El contenido de C y N orgánico total (COT y NOT, respectivamente) fue determinado por combustión directa usando un sistema analizador Leco CHN-2000 (Leco Corp., St. Joseph, EUA).

La masa microbiana de CMM y NMM fue determinada por la técnica de fumigación-extracción (Vance *et al.*, 1987). Para la determinación del C y N mineralizable se mezclaron las muestras provenientes de las dos profundidades muestreadas, luego estas fueron incubadas por 220 d, utilizando el método de lavado propuesto por Cabrera y Kissel (1988). En este caso, el contenido de $\text{NH}_4\text{-N}$ y $\text{NO}_3\text{-N}$ de los lavados fue determinado colorimetricamente en un autoanalizador Perkin Elmer, Fias 300, Ueberlingen, Alemania. Subsecuentes lavados fueron realizados a los 7, 14, 21, 53, 117, 157 y 190 d de incubación. El $\text{CO}_2\text{-C}$ producido de los suelos empacados en los tubos PVC fue determinado cada 7 d durante el primer mes y semanalmente el resto del tiempo de incubación. La concentración de $\text{CO}_2\text{-C}$ fue determinada utilizando un cromatógrafo de gases Agilent (Agilent Technologies, EUA) equipada con una columna 2 m Porapak Q.

Para la estimación del N potencialmente mineralizable se usó un modelo de un compartimiento con cinética de primer orden (Stanford y Smith, 1972); la valoración fue realizada en dos lapsos, el primero entre 0-5 semanas ($\text{N}_{\text{lábil}} = \text{N}_{0\text{L}}$) y el segundo lapso comprendió el N mineralizado acumulado a partir de la quinta semana hasta el final del período ($\text{N}_{\text{estable}} = \text{N}_{0\text{E}}$) como ha sido descrito por Galvis-Spinola y Hernández-Mendoza (2004).

La liberación de polisacáridos lábiles (monómeros de sacáridos) fue a través de hidrólisis con ácido sulfúrico-fenol (Lowe, 1993), seguido por estimaciones colorimétricas del contenido total de los azúcares contenido en los hidrolizados. Este análisis recupera

muchos polisacáridos que incluyen celulosa, además de muchos otros polímeros activos en la agregación de las partículas de suelo. La determinación fue realizada luego de separar los agregados de suelo. Se tomaron 0,5 g de agregado y se le adicionó 100 mL de 0,5 Mc de H_2SO_4 . Luego de esterilizarlos en autoclave por 1 h a 103 kPa (15 psi), se llevó a volumen (250 mL), se le adicionó fenol al 5% y 5 mL de H_2SO_4 concentrado. Se llevó a baño de agua a 25-30°C por 25 min. La concentración de polisacáridos se determinó a través de espectrofotómetro digital Agilent (Agilent Technologies, EUA) utilizando una longitud de onda de 490 nm.

La mineralización de N en el campo fue medida utilizando tubos PVC (diámetro 10 cm y profundidad 10 cm), con tapas de rosca. Se tomaron muestras de suelo mensualmente (abril a diciembre del año 2006), usando un barreno Oakfield (diámetro 2,26 cm). El N inorgánico fue extraído con KCl 2Mc y $\text{NH}_4\text{-N}$ + $\text{NO}_3\text{-N}$ determinados por colorimetría en un autoanalizador Perkin Elmer (Fias 300, Ueberlingen, Alemania).

El número de lombrices (población) se determinó durante los meses de julio y agosto de los años 2006 y 2007, mediante un marco metálico (0,5 \times 0,5 m). Se tomaron ocho muestras de suelo en cada potrero hasta 15 cm de profundidad (Anderson e Ingram, 1993). El área se limpió sin disturbar la superficie del suelo, se removió el bloque de suelo con una pala y se ubicó sobre un plástico, donde se extrajeron y se contaron las lombrices.

Con un toma muestras tipo Uhland se obtuvieron cuatro muestras de suelo no alteradas de 0 a 35 cm de profundidad en cada potrero, a las cuales se les determinó densidad aparente (D_a), distribución de tamaño de poros (porosidad total, macroporos de radio equivalente >15 mm y microporos de radio equivalente <15 mm), con el uso de mesa de tensión a una altura de succión de 1 m (Pla, 1983). Directamente en el campo, se midió la resistencia a la penetración (RP) con un penetrómetro de impacto de punta cónica diseñado por Nacci y Pla (1991).

La separación de los agregados del suelo fue realizada por dispersión en agua usando un tamizado húmedo (Espinoza, 2010). Se separaron cuatro fracciones de agregados: >2000 (macroagregados grandes), 250-2000 (macroagregados pequeños), 53-250 (microagregados grandes) y 20-53 μm (microagregados pequeños), los cuales fueron expresados sobre la base libre de arena.

Los tratamientos fueron arreglados en un diseño factorial (cobertura arbórea y profundidad de muestreo) completamente aleatorizado. Los datos fueron analizados por el análisis de la varianza con el Proc Mixed del programa de análisis estadístico SAS/STAT, versión 9 (SAS, 2000). La separación de las medias se realizó a través de la prueba de rango múltiple de la diferencia mínima significativa, declarando la significancia a $P < 0,05$. Para determinar la variabilidad explicada para los efectos de cobertura arbórea, propiedades físicas y biológicas del suelo se realizó un análisis multivariado de componentes principales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros físicos de suelo

En general, este suelo a pesar de ser de textura media (franco, franco arenoso y franco arcilloso), la D_a en todos los tratamientos estuvo por encima del límite crítico para el grupo textural ($1,4 \text{ Mg/m}^3$) en todos los horizontes, lo que pudiera estar asociado a la alta proporción de partículas laminares de baja cohesión, como limo, arena fina y arena muy fina (Bravo y Florentino, 1997). Con respecto a la profundidad (Cuadro 1), la D_a se ubicó en un rango de 1,58 a $1,76 \text{ Mg/m}^3$ aumentando desde la capa superficial hasta las más profunda. Los menores valores ($P < 0,05$) se asociaron a las dos capas superficiales muestreadas. A profundidad mayor de 15 cm no se observaron diferencias significativas entre la capas. Este incremento en la D_a con la profundidad parece corresponderse con la disminución de la materia orgánica en los horizontes más profundos, similar a lo indicado por Villanueva e Ibrahim (2002). Con respecto al efecto de la cobertura arbórea (Cuadro 2), el menor valor de D_a ($P < 0,05$) se observó a nivel de cobertura de 23% y el mayor valor

se asoció al resto de coberturas ($\approx 1,70 \text{ Mg/m}^3$), no apreciándose una tendencia clara con respecto D_a y la cobertura arbórea.

La cantidad total de poros varió entre 41,03 y 47,37%, observándose el mayor valor a 0-5 cm de profundidad y los mayores valores (sin diferencia significativa entre ellos) a profundidades mayores de 5 cm (Cuadro 1). Los niveles de cobertura arbórea de 23 y 31% ejercieron un efecto significativo sobre el incremento de la porosidad total del suelo, aunque el valor presente a 31% no fue diferente al observado a 35 y 5% (Cuadro 2). Con respecto a la macroporosidad (porosidad de aireación, poros $> 15 \mu\text{m}$), esta fue mayor significativamente en los tratamientos con 31 y 5%, comparada con 35 y 23%. Los valores de porosidad de aireación ($\approx 13,8\%$) encontrados en los tratamientos con 31 y 5% de cobertura arbórea estuvieron por encima del valor limitante (10%) para agricultura de secano sugerido por Pla (1983). Por otra parte, la microporosidad (porosidad de retención) fue mayor en los niveles de 35 y 23% ($\approx 35,9\%$) comparado con los tratamientos de 31 y 5% ($\approx 29,1\%$). Estos resultados son indicativos de mayor circulación de aire y agua en los suelos bajo 31 y 5% niveles de cobertura, con menor almacenamiento de agua (Duchaufour *et al.*, 1987). La profundidad de muestreo afectó significativamente a la macroporosidad y microporosidad (Cuadro 1). En las capas superficiales (hasta 20 cm) la macroporosidad fue mayor, pero la microporosidad fue mayor significativamente solo en la capa superficial (0-5 cm). Esto indica que la mayor circulación de aire y agua se efectúa entre 0 y 20 cm y el mayor almacenamiento de agua solo en la capa más superficial (0-5 cm).

La RP mostró valores altos que estuvieron en el rango de 1 566 a 3 649 kPa, observándose diferencias ($P < 0,05$) con la profundidad de muestreo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características físicas del suelo bajo estudio en relación con la profundidad

Profundidad cm)	Densidad aparente (Mg/m^3)	Porosidad total (%)	Mapo ¹ (%)	Mipo ² (%)	RP ³ (kPa)	Humedad (%)
0-5	1,58c ⁴	47,37a	13,18a	34,96a	1.566b	18,67a
5-10	1,62bc	43,41b	11,32a	32,07b	3.075a	14,85b
10-15	1,66ab	44,53b	13,02a	31,44b	3.649a	13,68b
15-20	1,67a	43,12b	11,15a	31,86b	3.396a	13,26b
20-25	1,72a	42,98b	9,74b	32,45b	2.901a	14,06b
25-30	1,74a	41,11b	9,05b	31,85b	2.670a	14,41b
30-35	1,76a	41,03b	9,02b	32,01b	2.706a	15,26b

¹ Mapo: Macroporosidad. ² Mipo: Microporosidad. ³ RP: Resistencia a la penetración.

⁴ Valores con letras distintas en la misma columna son diferentes ($P < 0,05$)

^{ab} Valores con letras distintas en la misma columna son diferentes ($P < 0,05$).

Cuadro 2. Características físicas del suelo bajo estudio en cuatro coberturas arbóreas

Cobertura arbórea (%)	Densidad aparente (Mg/m ³)	Porosidad total (%)	Mapo ¹ (%)	Mipo ² (%)	RP ³ (kPa)	Humedad (%)
35	1,71a ⁴	41,86b	7,89b	35,86a	2.763a	14,36b
31	1,69a	43,48ab	12,02a	29,74b	2.424b	16,92a
23	1,63b	45,21a	9,49b	35,94a	3.001a	14,41b
5	1,69a	42,9b	14,29a	28,53b	2.736a	14,67b

¹Mapo: Macroporosidad. ²Mipo: Microporosidad

³RP: Resistencia a la penetración.

⁴Valores con letras distintas en la misma columna son diferentes (P<0,05).

^{ab}Valores con letras distintas en la misma columna son diferentes (P<0,05).

Los mayores valores se observaron desde 5 hasta 35 cm de profundidad. Estos resultados indican que el efecto de pisoteo del ganado y/o uso de maquinaria agrícola es evidente hasta 35 cm de profundidad. La cobertura arbórea afectó la RP disminuyendo en el orden 23 ≥ 35 ≥ 5 > 31% (Cuadro 2), lo que sugiere que los potreros con 23, 35 y 5% de cobertura presentan la mayor compactación del suelo. Similar a lo encontrado en la evaluación de porosidad del suelo, no se encontró relación entre los niveles de sombra y RP.

El contenido de la humedad del suelo (Cuadros 1 y 2), al momento de realizar las evaluaciones, el suelo se encontraba entre un 50 a 70% de la humedad de capacidad de campo (26%). No se observó interacción de la cobertura con la profundidad de muestreo, pero sí entre las coberturas y las profundidades de muestreo. El mayor (P<0,05) porcentaje de humedad se presentó en la capa superficial, no observándose diferencias a capas más profundas. Estos valores se ubicaron entre 18,67% en la capa superficial a 14,64% en las capas profundas. Con respecto a la cobertura arbórea, esta tuvo un efecto significativo solo cuando la cobertura fue de 31%, donde se fue evidente un contenido de agua de 15% mayor. El hecho de haber encontrado valores de humedad similares entre la cobertura arbórea más alta (35%) y las más baja (5 y 23%) quizás se deba a que en las coberturas arbóreas bajas el rendimiento de materia seca del pasto fue 40% mayor comparada a la cobertura de 35% (Obispo *et al.*, 2013). La alta cobertura de pasto parece haber disminuido la evapotranspiración en el suelo, en consecuencia, conservado su humedad. En este caso se presentan dos situaciones diferentes que parecen conducir a la misma consecuencia, conservación de agua en el suelo. Es decir, las bajas coberturas arbóreas (5 y 23%) parecen conservar el agua no solo debido a éstas, sino también a la cobertura de pasto presente. Para el caso del potrero con cobertura de 35% la humedad en el suelo parece estar más relacionada a la alta cobertura arbórea.

De acuerdo a lo señalado por Ledesma *et al.* (2008) la humedad del suelo está altamente correlacionada a la cobertura arbórea, ya que ésta regula la temperatura y en consecuencia, la evapotranspiración en el suelo. Para el caso de 31%, este tratamiento tiene no solo alta cobertura arbórea, sino también tiene 20% más cobertura de gramínea comparada con 35% (Obispo *et al.*, 2013). De acuerdo a estos resultados, parece que no solo la cobertura arbórea es importante cuando se trata de conservación de agua en el suelo, sino que las pasturas presentes parecen ejercer un papel primordial en esta conservación.

La mayor cantidad de agregados en todos los tratamientos se agruparon en el tamaño de 250-53 μm y la menor cantidad fue de agregados <20 μm en ambas profundidades muestreadas, con excepción de la cobertura de 5% donde la menor cantidad se encontró en agregados 2000-250 μm (Cuadro 3). Aunque la distribución de los agregados estables al agua fue significativamente afectada por el nivel de cobertura arbórea, los resultados no mostraron una relación jerárquica entre éste parámetro y las cantidades de macro y microagregados encontrados. La excepción a lo anterior se observó en los macroagregados 2000-250 μm en la capa superficial, donde se observó una disminución (P<0,05) conjunta con los niveles de cobertura arbórea, coincidiendo la mayor cantidad de macroagregación con los potreros de mayores porcentajes de cobertura arbórea; sin embargo, esta tendencia no fue evidente a mayor profundidad. La mayor concentración (P<0,05) de la fracción de macroagregados de 250-53 μm se observó a nivel de cobertura arbórea de 31%, a ambas profundidades, sin diferencias entre los otros tratamientos de cobertura. Con respecto a los microagregados de 53-20 μm, no se observó diferencias, ni con las coberturas arbóreas, ni con la profundidad de muestreo. Al considerar los microagregados <20 μm a ambas profundidades hubo

Cuadro 3. Distribución de agregados estables al agua de acuerdo a cuatro niveles de cobertura arbórea y dos profundidades

Tamaño de agregados (μm)	Profundidad (cm)	Cobertura arbórea (%)			
		35	31	23	5
2000-250	0-5	10,83aB	12,37a	4,42bB	3,29b
	5-15	20,62aA	8,28b	12,06bA	4,17c
250-53	0-5	54,00b	61,29a	53,58b	52,08b
	5-15	44,29b	54,24a	47,24b	45,82b
53-20	0-5	23,42	31,64	26,67	25,97
	5-15	20,89	30,62	25,92	26,36
<20	0-5	2,83c	4,01b	3,84b	5,08a
	5-15	2,81c	3,83b	4,14b	6,10a

abc: Valores con letras minúsculas distintas en la misma fila son diferentes ($P < 0,05$).

AB: Valores con letras mayúsculas distintas en la misma columna son diferentes ($P < 0,05$).

una reducción significativa ($P < 0,05$) entre los dos extremos de cobertura arbórea, siguiendo un decreciente de $5 > 31 = 23 > 35\%$, observándose que los niveles de cobertura arbórea intermedia no tuvieron efecto sobre la cantidad de microagregados $< 20 \mu\text{m}$. Estos resultados evidencian que niveles de cobertura arbórea de 35 y 31% tienden a conservar macroagregados grandes.

En general, los parámetros físicos evaluados no fueron afectados drásticamente por los porcentajes de la cobertura arbórea, pero sí por la profundidad de muestreo. Los mayores cambios en estos parámetros fueron observados donde la cobertura arbórea era muy baja.

Parámetros biológicos de suelo

La actividad y el tamaño de la masa microbiana son importantes reguladores de la mineralización e inmovilización de residuos provenientes de plantas y microbios en el suelo. Por estas razones representa una pequeña, pero importante fracción dentro de los procesos que regulan el funcionamiento de los ecosistemas.

La concentración del C y N de la masa microbiana de acuerdo a los tratamientos evaluados se muestra en el Cuadro 4. Tanto CMM como NMM fueron significativamente afectados por los niveles de cobertura y por la profundidad de muestreo. En la capa superficial, los mayores valores de CMM se registraron a 31% de cobertura arbórea, sin diferencias significativas ($P < 0,05$) con las otras coberturas. A mayor profundidad CMM no mostró diferencias significativas entre el nivel de sombra de 31 y 5%, ni entre 35 y 23%.

Los valores estimados para la NMM en la capa superficial no siguieron un patrón parecido a la CMM; sin embargo, se observó un efecto jerárquico entre

cobertura arbórea y concentración de NMM, siguiendo un orden descendiente de $31 > 35 = 23 > 5\%$. A la profundidad de 5-15 cm, la distribución de NMM fue $31 > 23 = 35 = 5\%$. Tanto para C como N, la masa microbiana fue aproximadamente 40% mayor en la capa superficial comparada con la capa más profunda.

Estos resultados muestran que la cobertura arbórea de 31% fue el nivel de sombra que más favoreció el desarrollo de la microflora del suelo en este sistema silvopastoril, y quizás esto puede estar correlacionado a la menor RP, mayor macroporosidad y menor microporosidad observados en este potrero.

En general los valores de COT y NOT fueron afectados significativamente tanto por la cobertura arbórea, como por la profundidad de muestreo, pero no por la interacción de estos factores (Cuadro 4). Los mayores valores de COT como NOT fueron observados en el nivel de cobertura de 31% en ambas capas de suelo muestreados, sin diferencias significativas con las otras coberturas. Por lo general, los mayores valores tanto de COT como de NOT se encuentran en la capa superficial. Con respecto a los polisacáridos lábiles, los valores estuvieron en un rango que fluctuó entre 4,43 y 1,91 mg/g. Los mayores valores fueron observados en el nivel de 31% de cobertura arbórea sin diferencia significativa con el valor observado en el nivel de cobertura de 5%. Cuando se considera la profundidad de muestreo, la concentración de polisacáridos fue mayor en la capa superficial solo con el nivel de cobertura de 31 y 5%.

La densidad de lombrices de tierra fue significativamente diferente entre los tratamientos, siguiendo un orden decreciente de $31 > 35 > 23 > 5\%$, con un máximo número de $10,7 \times 10^4$ individuo/ha en el potrero de 31% de cobertura arbórea y un mínimo número de $3,6 \times 10^4$ individuo/ha en el potrero de menor

Cuadro 4. Características biológicas de suelos bajo cuatro niveles de cobertura arbórea y dos profundidades

Variable ¹	Cobertura arbórea (%)							
	35		31		23		5	
	Profundidad (cm)							
	0-5	5-15	0-5	5-15	0-5	5-15	0-5	5-15
CMM (mg/g)	0,44bA ²	0,13bB	0,75aA	0,38aB	0,41bA	0,19bB	0,45bA	0,18bB
NMM (mg/g)	0,14bA	0,07bB	0,19aA	0,09aB	0,13bA	0,07aB	0,11cA	0,06bB
Polisacárido lábil (mg/g)	2,74bA	2,05A	4,43aA	2,48B	2,64bA	2,00A	3,45abA	1,91B
Carbono total (mg/g)	29,1abA	20,4aB	31,6aA	19,5aB	22,4bA	15,3aB	26,3bA	15,2aB
Nitrógeno total (mg/g)	2,55bA	1,84aB	3,62aA	2,23aA	1,59bA	1,23bB	1,48bA	1,12bB
C:N	9,54	8,72	8,73	7,71	14,09	12,44	17,77	13,57
Materia orgánica (%)	52,3A	36,7B	56,9A	35,1B	40,4A	27,6B	47,3A	27,4B
Lombriz (n x10 ⁴)(individuo/ha)	8,3b		10,7a		5,4c		3,6d	

¹CMM: C de la masa microbiana, NMM: N de la masa microbiana.

abcd: Valores con letras minúsculas distintas en la misma fila y dentro de la misma profundidad son diferentes (P<0,05).

AB: Valores con letras mayúsculas distintas en la misma fila para la misma cobertura arbórea son diferentes (P<0,05).

cobertura (Cuadro 4). Las diferencias encontradas entre los tratamientos parecen estar asociadas directamente al nivel de sombra y las condiciones ambientales que envuelve la cobertura arbórea en los diferentes potreros, como la acumulación de hojarasca. Las lombrices viven en el horizonte orgánico, cerca o en la misma superficie del suelo, alimentándose principalmente de materia orgánica en descomposición (restos vegetales, heces de animales, etc.) como ha sido señalado por Domínguez *et al.* (2009).

Nieto *et al.* (2005) han propuesto una escala como un indicador de la validez del aporte de la materia orgánica de los suelos bajo sistemas silvopastoriles, la cual está basada en la relación C/N. Esta escala relaciona el C/N con el aporte de la MO de la siguiente manera: para valores menores de 10, se considera el aporte bueno (mineralización neta), para un rango de 10-14 es aceptable (sin efecto neto) y valor mayor de 14, no aceptable (inmovilización neta). Considerando la relación C/N de los suelos de este estudio (Cuadro 4), las cuales no fueron diferentes estadísticamente entre los tratamientos, se obtuvo el siguiente orden descendiente de 31=35<23<5%. Al ubicar estos valores dentro de la escala propuesta por Nieto *et al.* (2005), se observa que la cobertura de 35 y 31% corresponden a suelos con aporte bueno de MO, al obtener valores de C/N en el rango de 9,54 a 7,71.

La cobertura arbórea de 23% se correspondió con los suelos con aporte de MO aceptable, muy opuesto al nivel del 5% de cobertura, donde el aporte de MO no es aceptable de acuerdo a la escala propuesta por Nieto *et al.* (2005). Esto significa que la MO no es aprovechable por las plantas, ya que los microorganismos que actúan en el proceso de descomposición de la MO consumen

el poco nitrógeno que dispone el suelo, lo que puede ocasionar que la calidad del pasto se vea afectada por escasez de nitrógeno en el suelo (Obispo *et al.*, 2013). Cuando se correlacionan la densidad de lombrices con la relación C/N de los diferentes tratamientos, se encuentra una alta correlación negativa ($r = -0,97$, $P < 0,05$) entre estos dos parámetros. Esto es indicativo que en los tratamientos donde hubo mayor aporte de materia orgánica en descomposición los anélidos oligoquetos tuvieron más oportunidad de desarrollarse, debido a su hábito de alimentación. Sánchez y Hernández (2011) encontraron que la presencia de los árboles en pastizales de gramíneas contribuyó a estimular los organismos del suelo, especialmente a las lombrices de tierra.

El mayor número de lombrices de tierra encontrados en el potrero con 31% de cobertura arbórea parecen favorecer a los macroagregados (2000-250 μm) observados (Cuadro 3). Se ha demostrado que las lombrices de tierra modifican la estructura del suelo con su actividad cavadora y producción de heces. De acuerdo a Zuluaga *et al.* (2011), las lombrices de tierra en potreros ganaderos mejoran los procesos de descomposición, aireación y descompactación del suelo, con importantes repercusiones para la producción de pasto y la capacidad de filtración y retención de agua.

El C mineralizable, el cual es parte de las fracciones lábiles de la materia orgánica del suelo, fue afectado significativamente ($P < 0,05$) por la cobertura arbórea (Figura 1). En general, las tasas de mineralización de C fueron bastantes fluctuantes (≈ 15 a 1 mg C/kg suelo) principalmente en los primeros 60 d de incubación; sin embargo, las mayores tasas ($P > 0,05$) siempre fueron observadas en el potrero con 31% comparada con el resto de coberturas arbóreas. Después de 70 d de incubación

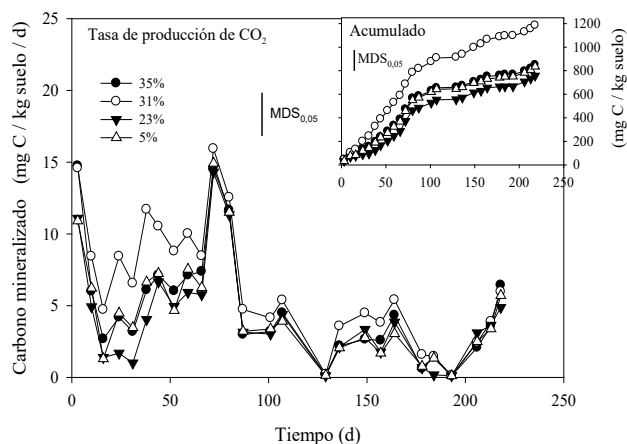


Figura 1. Tasa y acumulación del carbono mineralizado durante la incubación de suelos colectados bajo potreros con diferentes coberturas arbóreas (35, 31, 23 y 5%).

no se observaron diferencias significativas, aunque el suelo bajo 31% de cobertura arbórea mostró una segunda descarga de descomposición durante el periodo de 130 a 160 d. El C mineralizado y acumulado durante el tiempo de incubación fue aproximadamente 30% mayor ($P > 0,05$) para el suelo bajo 31% de cobertura arbórea comparada con el resto de tratamientos (Figura 1), lo que parece estar relacionada al mayor C orgánico, masa microbiana y polisacáridos lábiles (Cuadro 4). Además, en este tratamiento se observó (Cuadro 2) la mayor cantidad de macroagregación ($> 250 \mu\text{m}$).

En general, la cobertura arbórea no afectó el N mineralizado y acumulado (Figura 2), el cual fluctuó entre 400 y 520 mg/kg. Las tasas de mineralización fueron significativamente diferentes en los primeros 30 d de incubación (Figura 2) y variaron entre 5 y 15 mg/kg/d. Similar al C, mayores cantidades de N fueron mineralizadas a los 5 d de incubación, pero en este caso disminuyeron rápidamente después de este día. Las mayores tasas fueron observadas bajo el tratamiento de 31% de cobertura arbórea comparada con el resto de los tratamientos en estos primeros días. Después de 60 d de incubación las tasas fueron aproximadamente constantes en todos los tratamientos. Aun cuando el efecto de la cobertura arbórea no fue tan evidente en la mineralización de N como lo fue en la mineralización de C, las tasas de mineralización de N fueron afectadas por este parámetro.

La Figura 3 muestra la distribución de los valores de No_L y No_E de los diferentes tratamientos. Se observan diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las fracciones de No_L y No_E y la cobertura arbórea, siendo la No_E del potrero con cobertura arbórea de 31% la que presentó el mayor valor ($\approx 600 \mu\text{g N/kg}$

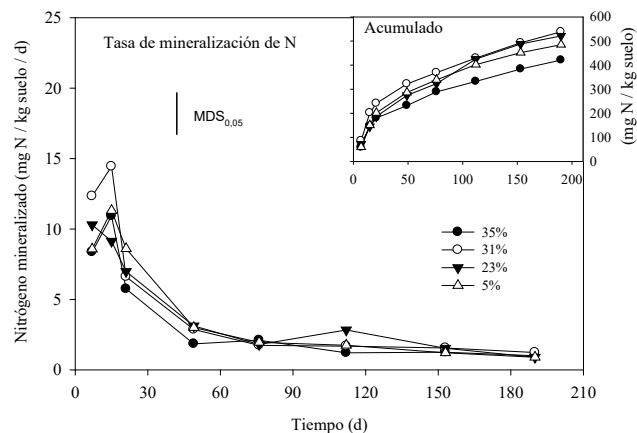


Figura 2. Tasa y acumulación del nitrógeno mineralizado durante la incubación de suelos colectados bajo potreros con diferentes coberturas arbóreas (35, 31, 23 y 5%).

suelo) y el menor valor ($\approx 250 \mu\text{g N/kg}$ suelo) la No_L del potrero con 35% de cobertura (Figura 3). No se observó un efecto significativo de la cobertura de los potreros sobre la No_L , ni tampoco entre No_E de las coberturas de 5, 23 y 35%. Esto es indicativo que las diferentes coberturas arbóreas evaluadas no afectaron el N que se liberó de los materiales orgánicos susceptibles (lábil) al ataque microbiano, como compuestos orgánicos nitrogenados, celulosas y hemicelulosas (Stole *et al.*, 1993). Sin embargo, la cobertura arbórea de 31% afectó los materiales orgánicos resistentes al ataque de la biomasa microbiana, los cuales inician su liberación en cantidades significativas entre la cuarta y octava semana de incubación. El potrero con 31% de cobertura arbórea es el que acumula la mayor cantidad de reservas orgánicas estabilizadas, pero susceptibles a mineralización.

Las tasas constantes de mineralización (k_L y k_E), las cuales son una medida indirecta de la biomasa microbiana, no fueron afectadas significativamente ($P < 0,05$) por la cobertura arbórea, pero si se observaron diferencias significativas entre ellas. La tasa constante de mineralización para la fracción lábil (k_L) fue $0,044 \text{ h}^{-1}$ y para la estable (k_E) fue $0,0082 \text{ h}^{-1}$. Si se considera que la capacidad suplidora de N del suelo está directamente relacionada con la cantidad total de N y k ; entonces, en este caso en particular, el nivel de cobertura arbórea no afectó la capacidad de suministro actual de N, pero la cobertura arbórea de 31% presente en el potrero incrementó el N estabilizado potencialmente mineralizable cuando se compara con los otros potreros. Este incremento parece estar conectado a las fracciones que se mineralizan a una tasa $\approx 80\%$ más lenta a la

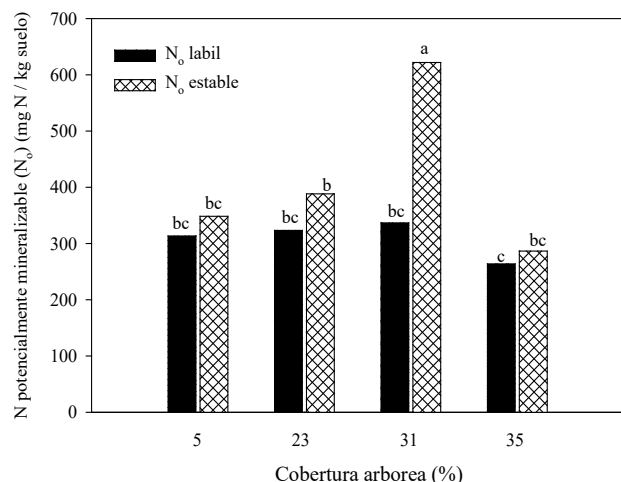


Figura 3. Nitrógeno potencialmente mineralizable lábil (N_{oL}) y estable (N_{oE}) durante 220 d de incubación de suelos colectados bajo potreros con diferentes coberturas arbóreas (35, 31, 23 y 5%).

observada en el N lábil potencialmente mineralizable. De acuerdo a Constantinides y Fownes (1994) estas fracciones estables están relacionadas a los polifenoles solubles y lignina presentes en el suelo. La aparente diferencia en las fracciones mineralizables de C y N entre los potreros indican una gran sensibilidad de este suelo al efecto ocasionado por la densidad de cobertura arbórea.

La mineralización o inmovilización del N medida en campo durante 229 d se muestra en la Figura 4. Se observa una inmovilización del N en todos los tratamientos durante el periodo 113-127 d, la cual fue mayor en los potreros con 31, 23 y 5% de cobertura arbórea comparado con 35%. Esto es indicativo que los microorganismos heterótrofos están utilizando el NH_4 o NO_3 presentes en el suelo. Después del día 127, ya el N no es retenido por la flora microbiana, es decir el N ya no es limitante y comienza una liberación neta de N en todos los tratamientos; esta mineralización neta es mantenida hasta final de la medición (342 d). El valor de N mineralizado *in situ* al final de la medición fue significativamente mayor en el nivel de cobertura arbórea de 31% (161,9 mg/kg) comparado con el resto de las coberturas (<120 mg/kg). Este resultado corrobora lo obtenido en las incubaciones del laboratorio, donde este nivel de cobertura arbórea parece ser el ideal para aumentar la capacidad suplidora de N del suelo.

A través de las incubaciones de laboratorio se determinó el N_o , el cual fue ≈ 450 mg/kg en promedio para todos los tratamientos. Si se considera que solo una

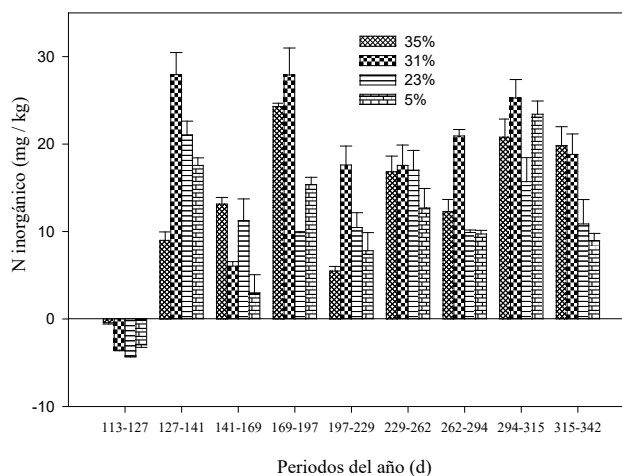


Figura 4. Nitrógeno mineralizado en campo medido *in situ* durante 180 d del año.

pequeña proporción ($\approx 20\%$) de este N potencialmente mineralizable puede ser liberado en el campo (Stanford y Smith, 1972), entonces la cantidad que puede hacerse disponible por el proceso de mineralización es de ≈ 90 mg/kg. Al correlacionar esta cantidad con el N medido *in situ* se observa un nivel alto de correlación ($r = 0,97, 0,96, 0,99$ y $0,93$ para los niveles de 35, 31, 23 y 5%, respectivamente), lo que implica que el N medido en el laboratorio puede proveer un estimado confiable de la habilidad del suelo a mineralizar nitrógeno. Este estudio demuestra que el N mineralizado es un factor importante que debe ser considerado en el momento de realizar las recomendaciones de fertilización nitrogenada al pasto.

La Figura 5 corresponde a la representación gráfica de análisis de coordenadas principales de los parámetros estudiados utilizando los diferentes niveles de cobertura (potreros) como variable clasificatoria, el cual explica el 77,6% de la variación. La combinación de las dos coordenadas formadas permite ubicar espacialmente a los diferentes parámetros para evaluar el grado de dispersión entre ellos, así como su distanciamiento con los diferentes potreros.

El componente 1, que explica el 50,3% de la variación, ubica en el cuadrante positivo al potrero con la cobertura arbórea de 31% y la asocia al 62% de los parámetros estudiados, observándose la menor distancia entre este potrero y las fracciones lábiles de C y N y RP como se muestra en la Figura 5, con los mayores valores del autovector. También están ubicados en este cuadrante positivo la porosidad total, MO y la macroagregación,

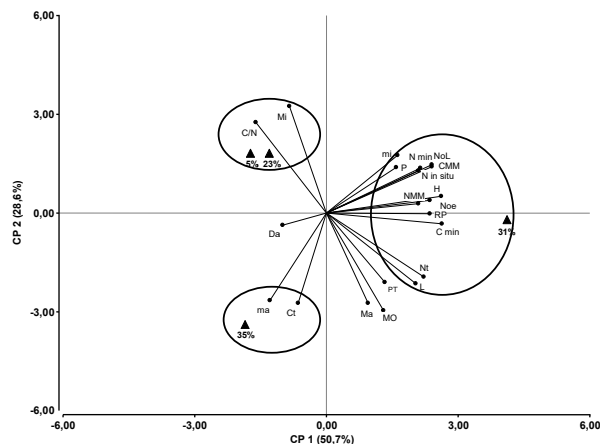


Figura 5. Análisis de correspondencia del efecto de los diferentes niveles de cobertura arbórea y su relación con las variables físicas y biológicas en los componentes principales 1 y 2 (CP1 y CP2). Ma=macroagregación, Mi=microagregación, ma=macroporosidad, mi= microporosidad, L=lombrices, P=polisacaridos

pero estos no se asocian con ningún nivel de cobertura arbórea. En el cuadrante negativo de este componente se asocia a los potreros con la menor cobertura arbórea (5 y 23%) con el alto valor de la relación C/N y la microagregación. El potrero con la mayor cobertura arbórea (35%) se asoció con la mayor concentración de C total y macroporosidad. El componente 2, que explica el 28,7% de la variación, separa claramente al potrero con 35% de cobertura arbórea en el cuadrante positivo de los potreros con menor cobertura arbórea (5 y 23%) y asocia en el cuadrante negativo a las variables con los mayores módulos de los autovectores de macroagregación, macroporosidad, C total, MO y lombrices con el potrero con 35% de cobertura y en el cuadrante positivo de este componente a la relación C/N y microagregados con los potreros con 5 y 23% de cobertura arbórea. El potrero con 31% de cobertura arbórea no tuvo peso en este componente.

CONCLUSIONES

Este estudio demostró variaciones importantes entre el nivel de sombra y las propiedades biológicas del suelo, especialmente las fracciones lábiles de la materia orgánica del suelo. Además, la cobertura arbórea de 31% tiende a incrementar los valores de los parámetros biológicos estudiados. En tal sentido, coberturas menores parecen afectar no sólo los parámetros biológicos, sino también los físicos, mientras que coberturas mayores de 31% afectan las propiedades biológicas sin cambios importantes sobre los parámetros físicos ni la concentración total de la materia orgánica del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Agropecuaria Rancho Alegre, del estado Yaracuy, por permitir el uso de sus instalaciones para el desarrollo de esta de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, J.M.; J. Ingram. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods*. 2^{da} ed. CAB International. Wallingford, Inglaterra. pp 79-82.
- Basavaraju, T.B.; R. Gururaja. 2000. Tree-crop interactions in agroforestry systems. A brief review. *Indian Forest*. 126: 115-116.
- Bravo, C.; A. Florentino. 1997. Nivel de cobertura, conservación de suelos y aguas bajo diferentes sistemas de labranza. *Rev. Fac. Agron. UCV* 25: 57-74.
- Cabrera, M.L.; D.E. Kissel. 1988. Potentially mineralizable nitrogen in disturbed and undisturbed soil samples. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1010-1015.
- Constantinides, M.; J.H. Fownes. 1994. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. *Soil Biol. Biochem.* 26: 49-55.
- De Aquino, A.M.; R.F. Da Silva; F.M. Mercante; M.E.F. Correia; M. de F. Guimarães; P. Lavelle. 2008. Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. *Eur. J. Soil Biol.* 44: 191-197.
- Domínguez, J.; M. Aira; M. Gómez-Brandón. 2009. El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Ecosistemas* 18: 20-31.
- Duchaufour, P.; B. Souchier; M. Bonneau. 1987. *Edafología. Constituyentes y Propiedades del Suelo*. Masson. Barcelona, España. 461p.
- Elliott, E.T. 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 627-633.
- Espinoza, Y. 2004. Calidad de la materia orgánica bajo diferentes prácticas de manejo en un suelo ácido tropical. *Rev. Fac. Agron. LUZ.* 21: 126-141.
- Espinoza, Y. 2010. Efecto de la labranza sobre la materia orgánica y tamaño de agregados en un suelo cultivado con maíz en condiciones tropicales. *Bioagro* 22: 177-184.

- Galvis-Spinola, A.; T. Hernández-Mendoza. 2004. Cálculo de nitrógeno potencialmente mineralizable. *Interciencia* 29: 377-383.
- Giraldo, L.A. 1996. Manejo y utilización sostenible de pasturas. 3^{ra} ed. Centro de Publicaciones Universidad Nacional. Medellín, Colombia. 387 p.
- Gregorich, E.G.; M.H. Beare; U.F. McKim; J.O. Skjemstad. 2006. Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 9705-985.
- Ledesma, R.; C. Kunst; J. Godoy. 2008. Efecto de un rolado selectivo sobre la emergencia y la productividad de gramíneas forrajeras. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 28(Supl. 1): 349-543.
- Lowe, L.E. 1993. Total and labile polysaccharide analysis of soils. *In*: Carter, M.R. (Eds.). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Can. Soc. Soil Sci. Washington, EUA. pp. 373-375.
- Nacci, S.; I. Pla. 1991. Técnicas y equipos desarrollados en el país para evaluar propiedades físicas de los suelos. FONAIAP. Serie B, N° 17. Maracay, Venezuela. 40p.
- Nieto, C.; R. Ramos; J. Galarza. 2005. Sistemas agroforestales aplicables en la Sierra Ecuatoriana. Resultados de una década de experiencia de campo. INIAP-PROMSA. Boletín Técnico No. 122. Quito, Ecuador. 61p.
- Obispo, N.E.; Y. Espinoza; J.L. Gil; F. Ovalles; E. Bisbal; M.J. Pérez. 2013. Relación de la proporción de sombra en el potrero con el rendimiento, calidad del forraje y ganancia diaria de peso en novillos. *Rev. Cien. Fac. Cien. Vet. LUZ* 6: 531-536.
- Ovalles, F.; M.F. Rodríguez; Y. Espinoza; A. Cortéz; M.J. Pérez; E. Bisbal; J.L. Gil; N. Obispo. 2007. Uso de imágenes satelitales de alta resolución para evaluar parcelas experimentales en ensayos silvopastoriles. *Zootecnia Trop.* 25: 269-277.
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Rev. Alcance UCV* 32. 91p.
- Sánchez, S.; M. Hernández. 2011. Comportamiento de comunidades de lombrices de tierra en dos sistemas ganaderos. *Pastos y Forrajes* 34: 359-366.
- SAS. 2000. SAS Procedures guide. Release 8.02. SAS Institute. Cary, EUA.
- Sotomayor, D.; Y. Espinoza; V. Acosta. 2009. Land use effects on microbial biomass C, β -glucosidase and β -glucosaminidase activities, and availability, storage, and age of organic C in soil. *Biol. Fert. Soils* 45: 487-497.
- Stanford, G.; S.J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potential of soil. *Soil Sci. Soc. Proc.* 36: 465-472.
- Stole, W.; H. van Keulen; D.W.G. van Kraalingen. 1993. The FORTRAN version of the van Keulen-Seligman CSMP-spring wheat model. Simulation Report CABO- TT N°30. Centre for Agrobiological Research. Wageningen. Holanda. 112 p.
- Van Veen, J.A.; E.A. Paul. 1981. Organic C dynamics in grassland soils. 1: Background information and computer simulations. *Can. J. Soil Sci.* 61: 185-201.
- Vance, E.D.; P.D. Brookes; D.S. Jenkinson. 1987. An extraction method for determining soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19: 703-707.
- Villanueva, C.; M. Ibrahim. 2002. Evaluación del impacto de los sistemas silvopastoriles sobre la recuperación de pasturas degradadas y su contribución en el secuestro de carbono en lecherías de altura en Costa Rica. *Agrofor. Am.* 9: 69-74.
- Zuluaga, A.F.; C. Giraldo; J. Chará. 2011. Servicios ambientales que proveen los sistemas silvopastoriles y los beneficios para la biodiversidad. Manual 4, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, Banco Mundial, FEDEGAN, CIPAV, Fondo Acción, TNC. Bogotá, Colombia. 31p.