



Corpoica. Ciencia y Tecnología

Agorpecuaria

ISSN: 0122-8706

revista_corpoica@corpoica.org.co

Corporación Colombiana de Investigación

Agropecuaria

Colombia

Roncallo F., Belisario; Murillo S., José; Bonilla B., Ruth; Barros H., Justo
Evolución de las propiedades del suelo en un arreglo agrosilvopastoril basado en Ceiba
roja (*Pachira quinata* (Jacq.) W.S. Alverson)

Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, vol. 13, núm. 2, julio-diciembre, 2012, pp.

167-178

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
Cundinamarca, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449945033006>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Evolution of soil properties in agroforestry arrangement based on red Ceiba (*Pachira quinata* (Jacq.) W.S. Alverson)

Soil deterioration in the Valle del Cesar has generated a gradual reduction of livestock in their productive response to pastures. That effect has been more intense in areas managed under a grass monoculture. As an alternative, an integration of agricultural, forest, and livestock production systems is proposed as an strategy for improving both environment preservation and production. The purpose of this study was to monitor the changes in the chemical, physical, and biological properties of soils under a agroforestry system comprised of *Pachira quinata*, *Leucaena leucocephala*, *Panicum maximum* cv. Tanzania, and *Manihot esculenta*; as a control a monoculture of *Bothriochloa pertusa* was used. The physic variables of texture, apparent density, porosity, and infiltration were evaluated. The chemical characteristics were determined using the methods described in Handbook No 47 by ICA. The microbial count was estimated using serial dilutions. To study the macrofauna, the TSBC methodology was used. There were no significant differences in the variables of apparent density, porosity, and infiltration in the intermediate phase as an effect of the cassava crop on the soil. In contrast, we observed differences in the topsoil after pastoring in all treatments. The chemical analysis revealed a positive effect on nutrient balance, and a greater dynamic in the 0 - 20 cm soil profile in the agroforestry system compared with the monoculture. In the agroforestry system, the establishment of fungi was favored and the macrofauna increased (154%) in comparison to the control (36.4%)

Key words: forest trees, cropping systems, soil reclamation, monoculture

Fecha de recepción: 02-03-2012
Fecha de aceptación: 26-10-2012

¹ Centro Investigación Motilón, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Agustín Codazzi (Colombia). broncallo@corpoica.org.co
² Centro de Investigación Tibaitatá. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Mosquera (Colombia).

Evolución de las propiedades del suelo en un arreglo agrosilvopastoril basado en Ceiba roja (*Pachira quinata* (Jacq.) W.S. Alverson)

Belisario Roncallo F.¹, José Murillo S.¹, Ruth Bonilla B.²,
Justo Barros H.¹

ABSTRACT

RESUMEN

El deterioro de los suelos en el Valle del Cesar, ha generado en la ganadería una reducción gradual de la respuesta productiva de las pasturas, la cual ha sido mayor en áreas establecidas en monocultivo de gramíneas. Como alternativa, se plantea la integración de sistemas de producción agrícolas, forestales y pecuarios y como una estrategia de uso de la tierra que favorece la conservación del medio ambiente y la producción. La presente investigación tuvo como objetivo monitorear los cambios de las características químicas, físicas y biológicas de los suelos explotados bajo un arreglo agrosilvopastoril conformado por *Pachira quinata*, *Leucaena leucocephala*, *Panicum maximum* cv. Tanzania y *Manihot esculenta*; como testigo se utilizó un área establecida en monocultivo de *Bothriochloa pertusa*. Se evaluaron las variables físicas textura, densidad aparente, porosidad e infiltración. Las características químicas se determinaron utilizando los métodos descritos en el manual No 47 del ICA. El recuento microbiano se determinó por el método de las diluciones seriadas; en el estudio de macrofauna se aplicó la metodología descrita por el programa TSBC. No se obtuvieron diferencias significativas en las variables densidad aparente, porosidad e infiltración en la fase intermedia como efecto del cultivo de la yuca sobre el suelo; se presentaron diferencias significativas en el horizonte superficial después del pastoreo en todos los tratamientos. El análisis químico reveló un efecto positivo en el balance de nutrientes y mayor dinámica en el perfil de 0 - 20 cm de profundidad en el arreglo agrosilvopastoril comparado con el monocultivo. En el arreglo agrosilvopastoril se favoreció el establecimiento de hongos y se incrementó la macrofauna (154%) comparado con el testigo (36,4%).

Palabras clave: árboles forestales, sistemas de cultivo, recuperación de suelos, monocultivo

INTRODUCCIÓN

Desde la época de la conquista y colonización española en América, los recursos naturales disponibles en la región han

sido sometidos a su explotación extractiva, principalmente de maderas, mediante la tala de bosques inicialmente concentrada en las cuencas y microcuencas de los ríos y posteriormente en el resto del territorio, siendo los principales efectos acumulados, la pérdida de la capa agrícola del suelo y la sedimentación de los cauces de los ríos.

Las formas inadecuadas de explotar los suelos desde entonces han derivado en el deterioro de los mismos, de la biodiversidad y del agua, factores de producción agropecuaria, con afectación de la capacidad productiva.

En la ganadería bovina, se ha observado una reducción gradual de la respuesta productiva de las principales pasturas, la cual ha sido más severa en áreas establecidas tradicionalmente en monocultivos de gramíneas, un modelo tecnológico implementado en la región durante varias décadas con influencia negativa en la producción, en la sostenibilidad y en la economía rural.

Los policultivos, las rotaciones de cultivos, los cultivos asociados y la integración de los sistemas de producción son estrategias de uso de la tierra que favorecen la conservación de los recursos naturales y la productividad rural (Rois *et al.*, 2006). La implementación forestal exclusiva, presenta limitaciones de ingreso a corto plazo y genera dificultad en el ingreso familiar; así mismo, las explotaciones agrícolas y ganaderas, con resultados cortoplacistas y a mediano plazo, no han contribuido por sí solas a mejorar los altos índices de pobreza rural y han impactado de manera negativa la sostenibilidad ambiental (Eichorn *et al.*, 2006).

Los sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles se definen como diversas modalidades y prácticas agrícolas, en las cuales hay interacciones ecológicas y económicas entre los componentes, árboles, animales y cultivos o pastos, que por sus resultados y su proyección, pueden ser un importante paso en la estrategia de lograr la armonía entre la conservación ambiental y el desarrollo de la actividad ganadera (Simón *et al.*, 2005); en este sentido, se considera que los sistemas silvopastoriles son ecosistemas complejos en los cuales la producción de madera (con retorno económico a largo plazo) y la producción de pasturas (con retorno económico a corto plazo) se combinan (López-Díaz *et al.*, 2008), favoreciendo la estabilización de la producción rural mejor que en los sistemas agronómicos y forestales puros (Eichorn *et al.*, 2006).

Los sistemas integrados agricultura - ganadería originan cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Salton *et al.*, 2005; Conte, 2007; Flores, 2008; Souza *et al.*, 2010), afectando el desarrollo radical de las plantas (Souza *et al.*, 2008); además, se ha considerado

que en condiciones de pastoreo, la eliminación de heces y orina por los animales constituye un importante factor de ciclaje y de concentración de carbono, nitrógeno y de otros nutrientes al suelo (Anghinoni *et al.*, 2011).

El objetivo del presente trabajo fue monitorear los cambios presentados en las características químicas, físicas y biológicas de los suelos explotados bajo un arreglo agrosilvopastoril con el propósito de generar alternativas del uso del suelo en condiciones del Valle del Cesar.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el Centro de Investigación Motilonia, localizado a 10°11' N y 73°15' O, en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar, Colombia. La región presenta una precipitación media anual de 1.350 mm con distribución bimodal, promedio anual de 29°C de temperatura y 68% de humedad relativa.

Descripción del arreglo agrosilvopastoril

Para el montaje del arreglo agrosilvopastoril se seleccionaron las especies, ceiba roja (*Pachira quinata*), yuca (*Manihot esculenta*), pasto guinea (*Panicum maximum* cv. Tanzania), acacia forrajera (*Leucaena leucocephala*) y campanita (*Clitoria ternatea*); el monocultivo de gramínea se estableció con el pasto kikuyina (*Bothriochloa pertusa*), especie predominante en la región en áreas ganaderas.

En el arreglo agrosilvopastoril intervinieron los siguientes componentes: una especie arbórea maderable (*P. quinata*), una arbórea para consumo de bovinos (*L. leucocephala*), una especie agrícola de ciclo corto (*M. esculenta*); las especies arbóreas maderables se sembraron a una distancia de 7 m entre surcos y 3 m entre plantas y en la mitad del surco se estableció un surco de *L. leucocephala*, distanciados 1 m entre plantas; en los espacios entre las arbóreas maderables y la *L. leucocephala* se sembraron dos surcos de yuca, separados 1 m entre sí y a 1,25 m de las arbóreas.

Una vez cosechada la yuca, el área ocupada por este cultivo se estableció con *P. maximum* cv. Tanzania y *C. ternatea*, utilizando en ambas especies, una densidad de siembra de 6 kg ha⁻¹ de semilla.

La evaluación con el cultivo de yuca se inició 8 meses después de la siembra de *P. quinata* con el fin de determinar la posibilidad de un mejor uso del suelo y generar ingresos en el corto plazo. De forma simultánea a la siembra de *L. leucocephala* y al inicio del primer periodo de lluvias, se sembró el clon de yuca (*M. esculenta*), identificado con la clave CIAT, SM 1511-6, la cual fue cosechada a los 9 meses después de la siembra.

Efecto del pisoteo animal sobre el suelo

La presión de pastoreo se determinó teniendo en cuenta la oferta de forraje en los aforos realizados, utilizando los animales que conformaron la carga fija y otros terneros volantes, los cuales se incluían o excluían de los potreros según la disponibilidad de materia seca. Los novillos de levante permanecieron en pastoreo durante 185 d, previa adaptación de 15 d, en experimentación focalizada a evaluar las ganancias de peso. El análisis físico final se utilizó para evaluar el efecto de los animales sobre las características físicas de los suelos, comparando el arreglo silvopastoril y el tratamiento testigo. Se utilizó como co-variable el análisis realizado antes de la introducción de los animales.

En el análisis físico se evaluaron en tres momentos los siguientes tratamientos:

- Testigo con presión de pastoreo (testigo con pastoreo)
- Arreglo agrosilvopastoril con yuca y sin presión de pastoreo (agrosilvopastoril sin pastoreo)
- Arreglo silvopastoril (sin yuca) y sin presión de pastoreo (silvopastoril sin pastoreo)
- Arreglo agrosilvopastoril con yuca y con presión de pastoreo (agrosilvopastoril con pastoreo)
- Arreglo silvopastoril (sin yuca) y con presión de pastoreo (silvopastoril con pastoreo)

Análisis físicos, químicos y biológicos de los suelos

Se determinaron las características físicas, químicas y biológicas mediante los métodos de laboratorio y/o campo; se realizaron evaluaciones en la fase inicial, intermedia y final del experimento, con una duración de 40 meses.

Las propiedades físicas determinadas fueron: textura, densidad aparente, porosidad e infiltración en dos niveles de profundidad (0 - 20 y 20 - 60 cm). Los rangos de los horizontes se determinaron con base en un análisis visual del perfil del suelo, realizado en tres calicatas, previo a la toma de las muestras. La textura se determinó por el método del tacto y confirmada por análisis de laboratorio mediante el hidrómetro de Bouyoucos. Las densidades aparentes fueron obtenidas por el método del anillo de volumen conocido ($63,7 \text{ cm}^3$), con el cual se tomaron las muestras y fueron procesadas en el laboratorio del Centro de Investigación Motilonia (Corpoica). Las porosidades se obtuvieron mediante la fórmula que involucra las densidades aparentes y reales. Para la densidad real se tomó el promedio de la densidad predominante de la zona, determinada en el valor de $2,60 \text{ g cm}^{-3}$. Las pruebas de infiltración se realizaron con anillos infiltrómetros con

tres repeticiones. Los resultados de campo se sometieron a un análisis de regresión para obtener las ecuaciones de infiltración acumulada, de velocidad de infiltración y finalmente las infiltraciones básicas.

Se determinaron las siguientes variables químicas: pH (método potenciométrico, relación suelo-agua 1:2,5), acidez intercambiable (KCl 1N), aluminio intercambiable, materia orgánica – MO (Walkley-Black modificado), fósforo - P disponible (Bray II), azufre - S (fosfato monocálcio), bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na, en acetato de amonio 1M a pH 7), CICE (capacidad de intercambio catiónico equivalente por suma de cationes), elementos menores (Fe, Cu, Mn, Zn, con Olsen modificado y B con fosfato monocálcico), y conductividad eléctrica, de acuerdo a los protocolos establecidos en el Manual No. 47 del ICA.

Para el análisis biológico, se hizo un recuento poblacional microbiano (hongos, bacterias y actinomicetos) se determinó por el método de las diluciones seriadas según Novo (1983), para lo cual se utilizaron tres medios de cultivos diferentes: rosa de bengala en el recuento de hongos, topping en el recuento de bacterias y almidón amoniaco en el de actinomicetos. En el estudio de la macrofauna se aplicó la metodología descrita en el programa Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF) (Lavelle, 1994; Anderson e Ingram, 1993).

Para analizar la evolución de las características físicas del suelo y el efecto de la siembra de yuca, se tuvo en cuenta el estado de los indicadores, antes y después de implementar los tratamientos, los cuales consistieron en: *i*) testigo, consistente en el monocultivo de gramíneas (tmg); *ii*) arreglo definido sin inclusión del cultivo de la yuca (arreglo sin yuca); *iii*) arreglo definido con inclusión de cultivo de yuca (arreglo con yuca).

Otros análisis

Selección del sistema de labranza: se realizó mediante el diagnóstico de las propiedades del suelo descritas por Murillo (2002), Castro y Amézquita (1991) y Bonilla y Murillo (1998).

Tabla 1. Rango crítico de las propiedades físicas de suelos con limitaciones para el desarrollo de los cultivos debido a la compactación (Castro y Amézquita 1991)

Propiedad física	Rangos críticos para el desarrollo de cultivos		
	Arenosos	Francos	Arcillosos
Densidad aparente (g cm^{-3})	> 1,8	> 1,6	> 1,5
Porosidad (%)	< 31	< 38	< 42
Infiltración (mm h^{-1})	< 63	< 20	< 5

Tabla 2. Criterios de selección del sistema de labranza según propiedades del suelo (Castro y Amézquita 1991)

Propiedad del suelo	Labranza profunda			Labranza mínima			Labranza cero		
	Textura			Textura			Textura		
	Pesada	Media	Liviana	Pesada	Media	Liviana	Pesada	Media	Liviana
Densidad aparente (g cm ⁻³)	> 1,5	> 1,6	> 1,8	1,3-1,5	1,4-1,6	1,6-1,8	< 1,3	< 1,4	< 1,6
Porosidad (%)	< 42	< 3,8	< 3,2	42-50	38-46	32-40	> 50	> 46	> 4
Infiltración (mm h ⁻¹)	< 5	< 20	< 63	5-10	10-20	20-63	>10	>20	>63
Materia orgánica	Baja	Baja	Baja	Media	Media	Media	Alta	Alta	Alta

Producción de hojarasca. La producción de hojarasca de *P. quinata* se estimó al inicio de la época de sequía, defoliando totalmente 20 árboles en cada bloque, en el momento que comenzó la transformación del follaje de color verde a amarillo. La materia seca del follaje se determinó colocando tres muestras de 250 g cada una en una estufa a 65°C durante 48 h (t'Mannetje, 1978).

Diseño experimental y análisis estadísticos

En el estudio de la evolución de las características físicas de los suelos se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones; las informaciones obtenidas fueron sometidas a análisis de varianza y las medias comparadas con la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5%. Las informaciones referentes a otros aspectos fueron analizadas mediante estadística descriptiva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas, químicas y biológicas

En la Tabla 3, se presentan las densidades aparentes, porosidades e infiltraciones iniciales. Los valores de las densidades aparentes, menores de 1,60 g cm⁻³ para suelos frances se consideran adecuados para agricultura es decir, no se catalogan compactados. Las porosidades obtenidas mayores de 38%, se ubican también en el rango de normalidad. La infiltración básica, promedio de infiltraciones que oscilan entre 2,7 mm h⁻¹ y 3,2 mm h⁻¹, se clasifica como lenta. Este resultado es coherente acorde a la textura F y FAr del suelo, con densidades aparentes menores de 1,60 g cm⁻³ debido a que los porcentajes de materia orgánica son bajos con promedios menores de 1,5%, según los análisis químicos iniciales (Tabla 4), lo cual repercute en la baja capacidad de infiltración.

Tabla 3. Características físicas iniciales de suelos previos a un arreglo agrosilvopastoril

Profundidad (cm)	Textura	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Porosidad (%)	Infiltración (mm h ⁻¹)
0 - 20	Franca	1,54	40,8	2,8
20 - 60	Franco arcillosa	1,60	38,5	--

El análisis químico inicial de los suelos mostró una textura franco (F) y franco arcillosa (FAr) con pH ligeramente ácidos; los contenidos de materia orgánica (MO), azufre (S), sodio (Na), suma de bases, saturación de sodio (Na), boro (B) y manganeso (Mn) son bajos; la concentración de fósforo (P), calcio (Ca), potasio (K), hierro (Fe) y cobre (Cu) son medios. La conductividad eléctrica ubica estos suelos como no salinos (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis químico inicial de suelo con un arreglo silvopastoril vs. monocultivo a dos profundidades

Elementos	Testigo		Silvopastoril	
	0-20	20-40	0-20	20-40
Textura	F	FA	F	FA
pH	5,7	6,2	6,2	6,3
Materia orgánica (%)	1,49	0,46	1,07	1,81
P (mg kg ⁻¹)	43,3	40,5	77,9	75,7
S (mg kg ⁻¹)	0,32	1,77	0,72	0,32
Ca (cmol+ kg ⁻¹)	5,31	6,78	6,1	6,42
Mg (cmol+ kg ⁻¹)	1,45	2,15	1,41	1,63
K (cmol+ kg ⁻¹)	0,59	0,55	0,61	0,64
Na (cmol+ kg ⁻¹)	0,30	0,38	0,28	0,29
Suma de bases (cmol+ kg ⁻¹)	7,65	9,86	8,4	8,98
Conductividad eléctrica, dS/m	0,32	0,17	0,32	0,38
Saturación de Na (%)	3,92	3,85	3,33	3,22
Fe (mg kg ⁻¹)	58,9	28,4	51,3	74,2
B (mg kg ⁻¹)	0,10	0,08	0,13	0,13
Cu (mg kg ⁻¹)	4,42	4,42	4,42	4,76
Mn (mg kg ⁻¹)	1,26	0,70	0,96	1,30
Zn (mg kg ⁻¹)	1,60	1,14	1,25	1,83

El análisis microbiológico inicial del suelo arrojó un mayor recuento para bacterias y actinomicetos tanto en el lote testigo como en el área donde se implementó el sistema agrosilvopastoril (SASP). Por otro lado, la población de hongos en ambos tratamientos estuvo aproximadamente dos unidades por debajo del recuento bacteriano (Tabla 5). Este comportamiento microbiano puede deberse al pH del suelo, el cual se mantuvo dentro de un rango de 5,7 a 6,2, favoreciendo la proliferación de bacterias y disminuyendo el crecimiento de hongos. Arias (2007), reportó que suelos tropicales ácidos (4,5 - 5,5) son óptimos para el desarrollo de hongos, variable que impidió el completo desarrollo metabólico de los mismos en el pH del suelo.

Por otro lado, las concentraciones de bacterias y actinomicetos son altas, atribuidas posiblemente al pH del suelo, situación característica de suelos tropicales (Roncallo *et al.*, 2009).

Tabla 5. Análisis microbiológico inicial de suelo con sistema agrosilvopastoril y monocultivo

Lote	Microorganismo	Concentración (ufc/g)
Monocultivo	Hongos	7,12 x 10 ⁵
	Bacterias	3,02 x 10 ⁸
	Actinomicetos	5,03 x 10 ⁷
SASP	Hongos	3,12 x 10 ⁵
	Bacterias	3,13 x 10 ⁸
	Actinomicetos	1,12 x 10 ⁸

Requerimientos de labranza

La densidad aparente es el parámetro más relevante para determinar la presencia de compactación y el grado de afectación del suelo (Hakansson y Lipiec, 2000; Volverás y Amézquita, 2009) que limita la producción de los cultivos, propiedad principal que se tuvo en cuenta para la preparación del suelo, además de la porosidad.

Las propiedades físicas del suelo presentadas en la Tabla 3 indican textura (F) en todos los horizontes, con densidades aparentes menores a 1,60 g cm⁻³ y porosidades mayores de 38%.

Basados en los criterios de la Tabla 1, se determinó que el estado físico del suelo en estudio es de no compactación crítica, es decir, no presenta limitaciones significativas para el buen desarrollo de las especies a sembrar; por lo tanto teniendo en cuenta los criterios descritos en la Tabla 2, se implementó labranza mínima según los parámetros de densidad aparente y porosidad.

Los antecedentes de uso de estos suelos, indican su dedicación a la actividad ganadera, establecidos tradicionalmente de pasto guinea; su color es indicativo de buen drenaje natural. Son suelos profundos, con nivel freático mayor de 1 m de profundidad; todos los aspectos señalados anteriormente explican la razón de su estado de no degradación, como lo indicaron los análisis iniciales de las propiedades del suelo (Bonilla y Murillo, 1998).

La recomendación para la preparación del suelo fue aplicar la labranza mínima; sin embargo, se realizó la labranza cero o siembra directa debido a la alta humedad que presentó el suelo en la época del establecimiento del experimento, derivado de las intensas precipitaciones; en éstas condiciones, cualquier labor realizada así sea mínima, probablemente podría causar deterioro al suelo antes que beneficio (Bonilla y Murillo, 1998).

Análisis intermedios

Análisis físico

Las densidades aparentes de los suelos antes y después de implementar los tratamientos se presentan en la Tabla 6. La condición inicial corresponde a las densidades aparentes antes de la siembra, que por encontrarse dentro del rango normal de los suelos de textura franca (menores de 1,60 g cm⁻³) no evidencian problemas de compactación crítica, razón por lo cual no se implementó ninguna labranza o sea que se estableció la siembra directa en todas las parcelas.

No se presentaron diferencias estadísticas ($P > 0,05$) entre tratamientos en el indicador densidad aparente del suelo, sin embargo se observó una mayor disminución o mejoramiento del suelo en el tratamiento arreglo sin yuca, en la profundidad de 0 - 20 cm. Este efecto posiblemente está influenciado por el desarrollo de las raíces y la caída de la hojarasca de las arbóreas, sin influencia del cultivo de la yuca. Entre tanto, el cultivo de la yuca ocasionó presión sobre el suelo por el crecimiento de las raíces y remoción en la cosecha por su extracción, que pudo derivar en incremento en la densidad aparente. Sin embargo, esta se mantuvo ligeramente estable posiblemente por tratarse de la primera cosecha. En el tmg, se presentó menor densidad que en el arreglo con yuca, debido posiblemente a la misma razón.

La Tabla 6, muestra los valores de las porosidades antes y posterior a la siembra obtenida en cada uno de los tratamientos tmg, arreglo sin yuca, arreglo con yuca; en esta variable se observó muy poca variación. La porosidad no presentó diferencias significativas ($P > 0,05$) entre tratamientos, con mayor incremento o mejoramiento del suelo en el tratamiento arreglo sin yuca (presión de las raíces arbóreas, descomposición de la hojarasca y la no siembra de la yuca) y debido posiblemente a que la disminución de la densidad aparente implica un aumento de la porosidad. En el monocultivo también se observó mejor porosidad que en el arreglo con yuca, lo cual se puede atribuir a la misma razón.

Tabla 6. Propiedades físicas de los suelos antes (condición inicial) y después de implementar los tratamientos (condición intermedia)

Tratamientos	Profundidad (cm)	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Porosidad (%)	Infiltración (mm h ⁻¹)
Condición inicial (ta)	0-20	1,54	40,8	2,8
	20-60	1,60	38,5	
Tmg (monocultivo)	0-20	1,50	42,3	2,3
	20-60	1,57	39,6	
Arreglo sin yuca	0-20	1,45	44,2	2,8
	20-60	1,58	39,2	
Arreglo con yuca	0-20	1,53	41,2	2,1
	20-60	1,55	40,4	

La Tabla 6, presenta los valores de las infiltraciones básicas de los tratamientos y las condiciones iniciales. Se observa conformidad con los valores de densidad aparente y porosidad en cuanto a mayor infiltración en el tratamiento arreglo sin yuca, seguida del tmg y luego por el arrgo con yuca; sin embargo, las diferencias no fueron significativas ($P > 0,05$) entre los tratamientos.

Análisis finales

Análisis físico

El análisis físico final se utilizó para evaluar el efecto de los animales sobre las características físicas de los suelos.

Densidad aparente. Las densidades aparentes finales con pastoreo y sin pastoreo (Tabla 7) y las densidades intermedias (Tabla 6), muestran incremento en las densidades aparentes en ambos horizontes de las parcelas donde se implementó el pastoreo con yuca, sin yuca y testigo con respecto a las densidades antes del pastoreo (densidades intermedias), mientras en las parcelas donde no hubo pastoreo las densidades disminuyeron; sin embargo, mientras en el testigo el incremento de la densidad aparente en el horizonte superficial fue de 11,8%, en el profundo fue de 4,8%. En el tratamiento con yuca en la profundidad de 0 - 20 cm el incremento fue de 9,5% mientras que en el nivel de 20 - 60 cm fue de 4,9%; de otra parte, en el tratamiento con yuca pastoreado en el primer horizonte fue de 12,6% en el subsuperficial fue sólo de 4,8%.

En todos los casos evaluados, el incremento de la densidad aparente fue más pronunciado en los primeros centímetros del suelo y se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos pastoreados y no pastoreados en el horizonte de 0 - 20 cm, lo que indica que el incremento de la densidad aparente fue un efecto del pastoreo ejercido por los animales sobre el suelo. En la profundidad de 20 - 60 cm no hubo diferencias significativas ($P \geq 0,05$). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Taboada (2007) y Roncallo *et al.* (2009), quienes evaluaron los efectos del pastoreo de bovinos sobre el suelo y observaron aumentos significativos de la densidad aparente, principalmente en los horizontes superficiales.

La porosidad se correlaciona inversamente con la densidad aparente, por esta razón los tratamientos donde se ejerció pastoreo (testigo con pastoreo, silvopastoril con pastoreo, silvopastoril con pastoreo) presentaron las porosidades más bajas en relación con los tratamientos donde no se ejerció presión de pastoreo (agrosilvopastoril sin pastoreo y silvopastoril sin pastoreo) (Tabla 7). También hubo diferencias significativas ($P < 0,05$) en el horizonte

más superficial entre los tratamientos con y sin animales. Estos resultados también coinciden con los obtenidos por Pérez (2005), Taboada (2007) y Roncallo *et al.* (2009); en los tratamientos en los cuales se ejerció presión de pastoreo evidenciaron menores valores de infiltración (testigo con pastoreo, agrosilvopastoril con pastoreo, silvopastoril sin pastoreo) en comparación con los tratamientos donde no hubo presencia de animales.

La compactación, producto del pisoteo del ganado reduce la macroporosidad del suelo y por lo tanto genera una disminución de la infiltración. El tratamiento testigo (monocultivo) fue igual a los demás tratamientos ($P > 0,05$) (Tabla 7).

Tabla 7. Propiedades físicas de los suelos después de introducir los animales a sistemas silvopastoriles

Tratamiento	Profundidad (cm)	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Porosidad (%)	Infiltración (mm h ⁻¹)
Testigo con pastoreo	0-20	1,70 a	34,6 a	2,44
	20-60	1,65	39,8	
Agrosilvopastoril sin pastoreo	0-20	1,51 c	41,6 c	4,0
	20-60	1,54	40,5	
Silvopastoril sin pastoreo	0-20	1,40 c	46,0 c	3,66
	20-60	1,44	44,5	
Agrosilvopastoril con pastoreo	0-20	1,69 ab	35,0 ab	2,0
	20-60	1,63	37,1	
Silvopastoril con pastoreo	0-20	1,66 ab	35,5 ab	1,86
	20-60	1,66	35,9	

Medias en la misma columna seguidas por la mismas letras no presentan diferencias significativas, según prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Diversos estudios adelantados en monocultivos de gramíneas para evaluar el efecto del pisoteo animal, han reportado un efecto de compactación en los horizontes más superficiales del suelo comparados con los perfiles mas profundos; en general, se registran aumentos de la densidad aparente, menor porosidad, reducción de la infiltración, aumento de la resistencia mecánica a la penetración en áreas pastoreadas en relación con lotes no expuesto al pisoteo animal (Salton *et al.*, 2008; Vizzoto *et al.*, 2000; Pérez, 2005; Mohammad *et al.*, 2005), resultados que coinciden con los obtenidos en el presente trabajo.

Análisis biológico

Microbiológico

En las poblaciones microbianas al final de experimento se observó que el recuento de actinomicetos aumentó en una unidad del lote SASP (Tabla 8) en comparación con el lote testigo (monocultivo), sin embargo, el recuento de bacterias y hongos se mantuvo constante en los lotes SASP y testigo. Este resultado puede ser explicado por

posibles interacciones microbianas de tipo antagonico que pudieron influir en cambios de poblacionales de la microbiota del suelo (Franco, 2008).

Tabla 8. Recuento de hongos, bacterias y actinomicetos en muestreo final de suelo con desarrollo de sistemas tradicionales de pastoreo (testigo) y arreglo agrosilvopastoril (SASP)

Lote	Microorganismo	Concentración (ufc/g de suelo)
Testigo	Hongos	$1,12 \times 10^5$
	Bacterias	$1,22 \times 10^4$
	Actinomicetos	$5,00 \times 10^3$
SASP	Hongos	$2,02 \times 10^5$
	Bacterias	$1,12 \times 10^4$
	Actinomicetos	$1,02 \times 10^4$

Macrofauna. En el tratamiento testigo se determinó una densidad inicial de 352 individuos/m², valor que fue superior al tratamiento silvopastoril (176 individuos/m²). En el muestreo intermedio se presentó una reducción de la población (27,3%) y a la finalización del experimento se encontró un incremento de la población de 36,4% (Figura 1).

En el arreglo agrosilvopastoril, a pesar que presentó en la etapa inicial una menor población respecto al tratamiento testigo, se observó un incremento de la población en las etapas intermedia (36,4%) y final (154%), en relación con el muestreo inicial (Figura 2).

En el muestreo inicial se identificaron 6 especies en el lote testigo; el número de especies identificadas se redujo en la fase intermedia (4) y final (3), lo cual representa una

reducción con respecto a la fase inicial de 33,3% y 50,0%, respectivamente (Figura 3).

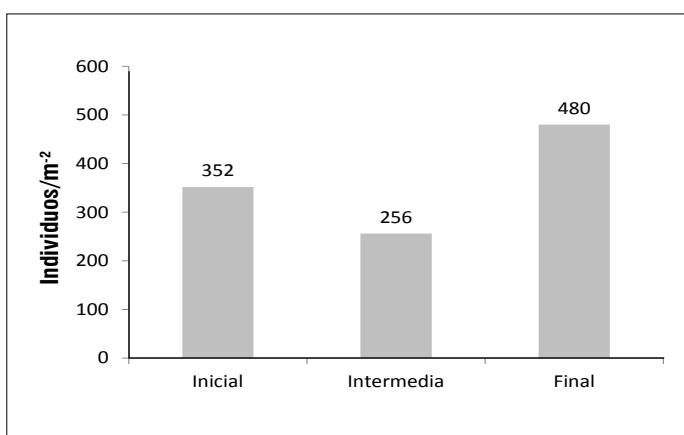


Figura 1. Recuento de macrofauna en el muestro inicial, final e intermedio en el tratamiento testigo

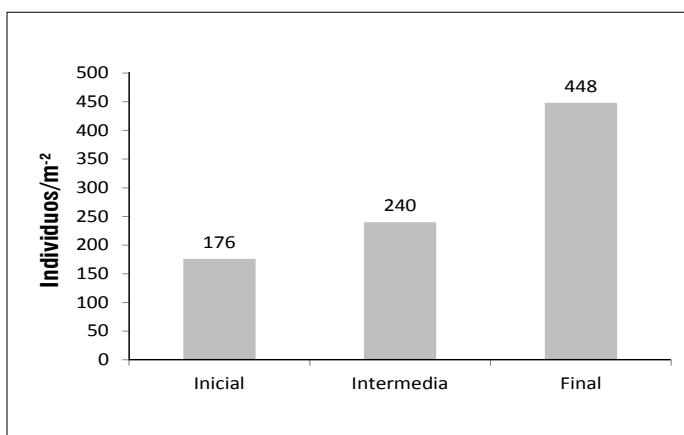


Figura 2. Recuento de macrofauna en el muestro inicial, final e intermedio en el arreglo silvopastoril

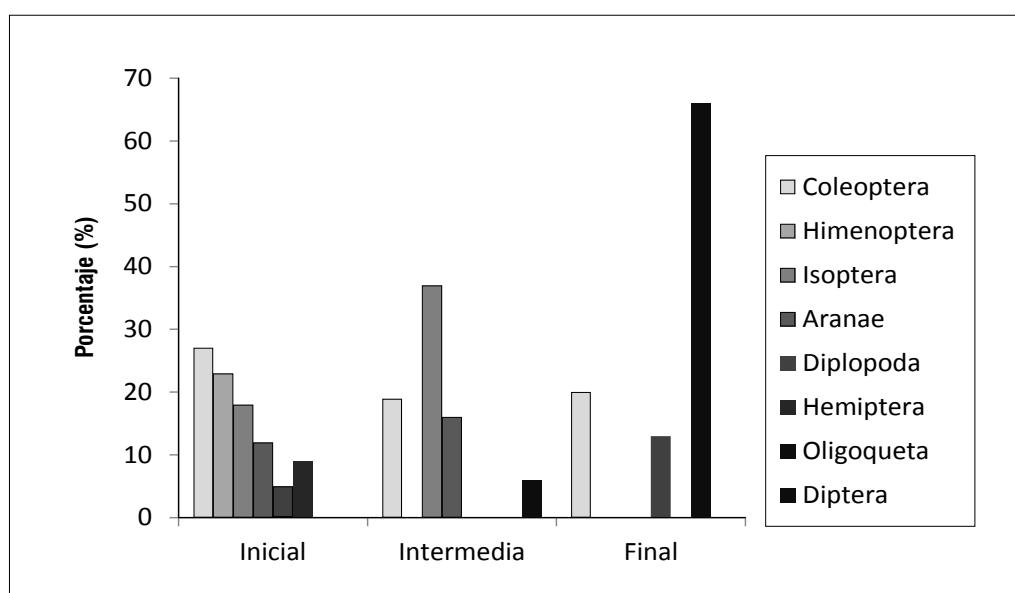


Figura 3. Porcentaje de especies identificadas en el muestreo inicial, intermedio y final en el tratamiento testigo

En la fase inicial del arreglo silvopastoril se identificaron cinco especies; el número de especies se mantuvo en la fase intermedia (5) y se presentó una reducción al final (4) del experimento, lo cual representó una disminución del 20% en el número de las especies presentes (Figura 4).

Laossi *et al.* (2008) concluyeron que la densidad de la fauna está afectada por la calidad de la hojarasca y es mayor la influencia de la calidad que de la cantidad; así mismo, plantean que la biomasa de las plantas tiene un efecto positivo sobre la diversidad de la macrofauna del suelo y la densidad. De otra parte, diversos estudios han concluido que la diversidad de la fauna del suelo no está asociada con la diversidad de las plantas (Salomón *et al.*, 2004; Wardle *et al.*, 2006), lo cual se atribuye a que muchas especies de la fauna del suelo son genéricas en términos de preferencia de alimentos y hábitat (Wardle *et al.*, 2006; Laossi *et al.*, 2008); en general, la literatura ofrece resultados contradictorios acerca de la preferencia alimenticia de los detritívoros.

Análisis químico inicial, medio y final del suelo en el monocultivo de *B. pertusa*

En el análisis químico inicial, medio y final del suelo en la profundidad de 0 – 20 cm de profundidad en el lote testigo, se observa que los indicadores P (Figura 6), Mn y Zn presentan pequeños descensos y los valores de la MO registran reducción marcada (1,06%) (Figura 5) las concentraciones de S (Figura 7), Ca y Mg presentan leves incrementos; mientras que los valores de K, Na y B permanecen invariables. La dinámica que se observa de los elementos

minerales en el suelo a través del tiempo es menor que en el arreglo silvopastoril y refleja en general, un proceso extractivo con poco retorno, siendo visible un balance de nutrientes desfavorable en este sistema (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis químico inicial, medio y final del suelo en el horizonte de 0 - 20 cm en el lote testigo

Tipo análisis	Inicio	Medio	Final
Textura	F	FA	F
pH	5,7	6,3	6,2
MO (%)	1,49	0,86	0,46
P (mg kg ⁻¹)	43,3	41,7	40,5
S (mg kg ⁻¹)	0,32	2,4	1,77
Ca (cmol+ kg ⁻¹)	5,31	6,78	6,78
Mg (cmol+ kg ⁻¹)	1,45	2,22	2,15
K (cmol+ kg ⁻¹)	0,59	0,32	0,55
Na (cmol+ kg ⁻¹)	0,30	0,10	0,38
B (mg kg ⁻¹)	0,10	0,25	0,08
Cu (mg kg ⁻¹)	4,42	4,00	4,42
Mn (mg kg ⁻¹)	1,26	2,00	0,70
Zn (mg kg ⁻¹)	1,60	1,30	1,14

En el arreglo silvopastoril se observa que a través del tiempo en el horizonte de 0 – 20 cm de profundidad, se presentan incrementos en los valores de MO (Figura 5), P (Figura 6), Ca, S (Figura 7), Mg y Mn; entre tanto, los contenidos de K, Na, B y Zn registran descensos; mientras que los indicadores del Cu y el pH, permanecen invariables. Los indicadores en ascenso se desplazan a un ritmo mayor que los elementos que registran descensos; estos comportamientos están asociados probablemente al retorno de minerales al suelo mediante la degradación

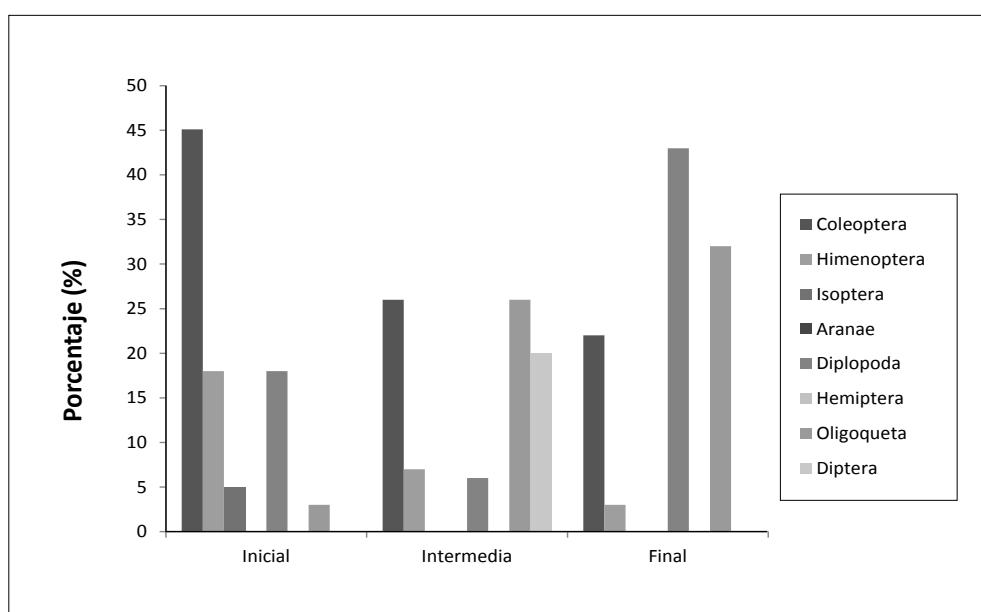


Figura 4. Porcentaje de especies identificadas en el muestreo inicial, intermedio y final en el arreglo agrosilvopastoril

de la hojarasca que aporta el arreglo silvopastoril y las deyecciones de heces y de orina de los animales que pastorearon estos lotes (Tabla 10).

Según Salton y De Faccio (2007), es importante el retorno de nutrientes por los animales y la presencia de estos altera la distribución de los nutrientes en el suelo y el reciclaje de los mismos debido a la excreción de las heces y orina; el área de pastura afectada depende del número de animales y del movimiento espacial y temporal, lo cual está influenciado por la disposición de las cercas, agua, sombra y topografía; la mayor capacidad de carga animal favoreció el retorno de nutrientes al suelo en el arreglo silvopastoril.

El sistema de integración agricultura – ganadería bajo pastoreo con cargas moderadas puede acumular más carbono y nitrógeno que sistemas sin pastoreo; además, puede mejorar los atributos físicos y químicos (Anghinoni *et al.*, 2011); la presencia de los animales, altera las vías de los flujos de nutrientes, su naturaleza y magnitud, generando cambios en el funcionamiento del sistema (Flores, 2008; Souza, 2008).

Tabla 10. Análisis químico inicial, medio y final del suelo en la profundidad de 0-20 cm en el arreglo silvopastoril

Parámetro	Inicio	Medio	Final
Textura	F	FA	F
pH	6,2	6,3	6,5
MO(%)	1,07	1,90	3,10
P (mg kg ⁻¹)	77,9	86,3	97,0
S (mg kg ⁻¹)	0,72	4,1	4,2
Ca (cmol+ kg ⁻¹)	6,1	6,5	7,9
Mg (cmol+ kg ⁻¹)	1,41	1,91	2,2
K (cmol+ kg ⁻¹)	0,61	0,35	0,39
Na (cmol+ kg ⁻¹)	0,28	0,07	0,08
B (mg kg ⁻¹)	0,13	0,13	0,12
Cu (mg kg ⁻¹)	4,42	3,20	2,95
Mn (mg kg ⁻¹)	0,96	0,96	2,85
Zn (mg kg ⁻¹)	1,25	1,20	0,80

Producción de hojarasca

P. quinata es una especie caducifolia que bajo estrés hídrico presenta una defoliación total; en la región, durante la época de sequía, de manera recurrente en el primer semestre del año ocurre la caída de las hojas, las cuales entrega el árbol al sistema para que posteriormente se degraden y reviertan al suelo los nutrientes que lo componen mediante el proceso de ciclaje de nutrientes (Figura 8).

El aporte de hojarasca de la ceiba roja al sistema estuvo en un rango entre 284,9 a 600,1 kg ha⁻¹ de MS al año.

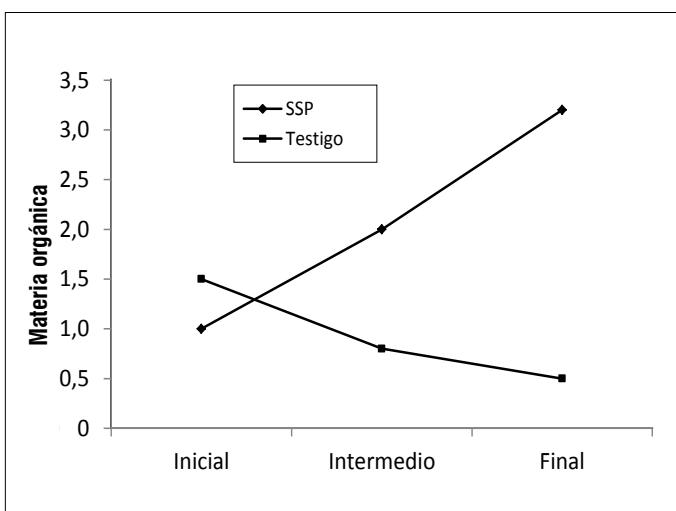


Figura 5. Dinámica de la materia orgánica (%) en el muestro inicial, intermedio y final del suelo en los lotes testigo y silvopastoril (SSP)

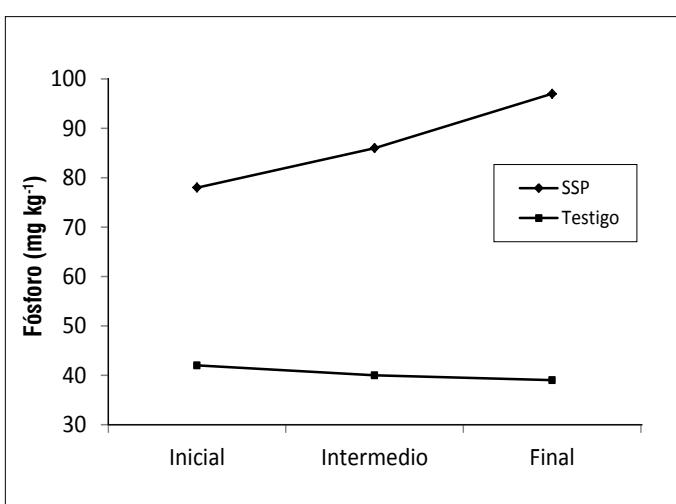


Figura 6. Dinámica de la concentración de P en el muestro inicial, intermedio y final del suelo en los lotes testigo y silvopastoril (SSP)

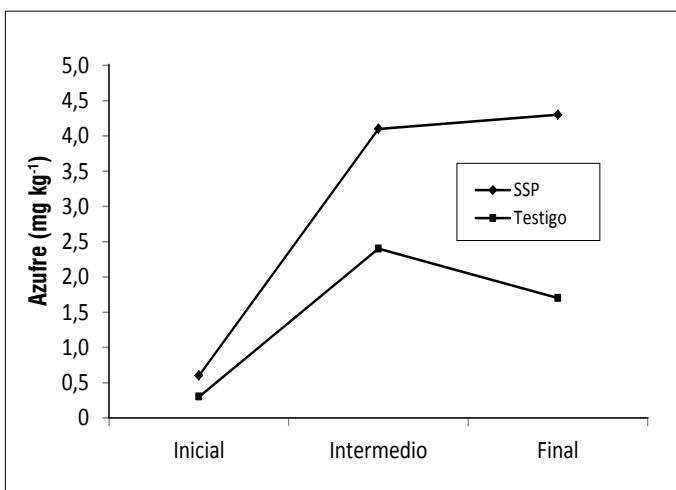


Figura 7. Dinámica de la concentración de S en el muestro inicial, intermedio y final del suelo en los lotes testigo y silvopastoril (SSP)



Figura 8. Paisaje del arreglo en épocas de lluvia

Los nutrientes presentes en la hojarasca constituyen una fuente importante de recursos, por esta razón la cuantificación de su producción y su naturaleza, son informaciones necesarias para comprender el reciclaje de los nutrientes en los ecosistemas forestales (Ramírez *et al.*, 2007)

El aporte de los macronutrientes en el tercer año se encontraron rangos (kg ha^{-1} por año), entre 5,96 a 8,64 de N, 0,51 a 1,26 P, 2,51 a 4,14 K, 6,58 a 18,96 Ca y de 0,97 a 3,0 Mg, en el sistema agrosilvopastoril establecido.

El aporte de los microelementos se encontraron en rangos (mg ha^{-1}), de 55.600 a 177.000 Fe, 31,6 a 45,8 Cu, 34,2 a 114,3 Mn, 26,8 a 44,3 Zn y 424,6 a 1.153 B, en el sistema agrosilvopastoril.

La variación presentada en la cantidad reciclada para cada nutriente analizado se asoció a diferencias en la producción de materia seca y a la concentración de nutrientes en la hojarasca producida en los bloques establecidos en arreglos silvopastoriles ya que con excepción en las concentraciones de Cu, Zn y B, los demás nutrientes presentaron variaciones superiores al 10% (Tabla 11).

El contenido de nitrógeno de la hojarasca de *P. quinata* (1,44% a 2,09%) presenta en su rango superior, la misma tendencia a las obtenidas por el conjunto de la vegetación en una formación bosque seco en México (1,87 a 1,99%) en estudios realizados por Cárdenas y Campo (2007);

entre tanto, los porcentajes de P variaron de 0,18 a 0,21, los cuales son superiores a los reportados en los mismos estudios, siendo en su orden de 0,07 a 0,09 %.

Tabla 11. Concentración de nutrientes en hojarasca de ceiba roja establecidos en el Centro de Investigación Motilonia (Corpoica)

Nutriente	Bloque 1	Bloque 2	CV (%)
N(%)	1,44	2,09	26,0
P (%)	0,21	0,18	18,9
K (%)	0,69	0,88	17,1
Ca (%)	3,16	2,31	22,0
Mg (%)	0,5	0,34	26,9
S (%)	0,16	0,16	0
Fe (mg kg^{-1})	294,8	195,4	28,7
Cu (mg kg^{-1})	5,3	5,3	0
Mn (mg kg^{-1})	90,7	66,7	21,6
Zn (mg kg^{-1})	10,7	10,7	0
B (mg kg^{-1})	60,8	64,5	4,2

CV= Coeficiente de variación

CONCLUSIONES

La dinámica de los elementos minerales en el suelo del monocultivo a través del tiempo fue menor que en el arreglo silvopastoril y refleja un proceso extractivo con poco retorno, siendo visible un balance de nutrientes desfavorable.

En el suelo del arreglo silvopastoril, los indicadores en ascenso (MO, P, Ca, S, Mg, Mn) se desplazan a un ritmo mayor que los elementos que registran descensos

(K, Na, B, Zn); estos comportamientos están asociados principalmente al retorno de minerales al suelo mediante la degradación de la hojarasca que aportan los componentes del arreglo silvopastoril y la mayor deposición de heces y orina de los animales.

Las características físicas del suelo no presentan cambios significativos, atribuibles al desarrollo del cultivo de la

yuca; entre tanto, el pastoreo de animales en los arreglos silvopastoril y monocultivo producen efectos negativos sobre las características físicas del suelo, con incremento de la densidad aparente, reducciones de la porosidad y de la infiltración.

P. quinata mediante la caída de la hojarasca, aporta al suelo cada año cantidades variables de minerales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson JM, Ingram JS. 1993. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. Wallingford, UK: CAB International.
- Anghinoni I, Moraes A, Carvalho PCF, Souza ED, Conte O, Lang CR. 2011. Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. En: Da Fonseca AF, Caires EF, Barth G, editores. Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto. Ponta Grossa, Brasil. pp. 1-31.
- Arias A. 2007. Suelos tropicales. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Bonilla R, Murillo J. 1998. Desarrollo de sistemas de manejo para la recuperación de suelos compactados de los departamentos del Cesar, la Guajira y Magdalena. En: Memorias, Encuentro Nacional de Labranza de Conservación. Villavicencio, Colombia. pp. 195-204.
- Cárdenas I, Campo J. 2007. Foliar nitrogen and phosphorus resorption and decomposition in the nitrogen-fixing tree *Lysiloma microphyllum* in primary and secondary seasonally tropical dry forests in Mexico. *J Trop Ecol* 23:107-113.
- Conte O. 2007. Atributos físicos do solo e demanda de tracão em semeadura direta de Soja, com diferentes pressões de pastejo em sistema de integração lavoura – pecuária [Tesis de maestría]. Porto Alegre, Brasil: Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Castro F, Amézquita CE. 1991. Sistemas de labranza y producción de cultivos en suelos con limitantes físicos. *Suelos Ecuat* 21(1):21-28.
- Eichorn M, Paris P, Herzog F, Incoll L, Liagre F, Mantzanas K, Mayus M, Moreno G, Papanastasis V, Pilbeam D, Pisaneli A, Dupraz C. 2006. Silvoarable systems in Europe-past, present and future prospects. *Agroforest Syst* 67:29-50.
- Flores JPC. 2008. Atributos físicos e químicos do solo e rendimiento de soja sob integración lavoura – Pecuaria en sistemas de manejo [Tesis de doctorado]. Porto Alegre, Brasil: Faculdade de Agronomía. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Franco M. 2008. Evaluación de caracteres PGPR en actinomicetos e interacciones de estas rizobacterias con hongos formadores de Micorrizas [Tesis de doctorado]. Granada, España: Universidad de Granada.
- Hakansson I, Lipiec JA. 2000. Review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil Tillage Res* 53:77-85.
- ICA, Instituto Colombiano Agropecuario. 1989. Manual de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Manual de Asistencia Técnica No. 47. Bogotá.
- Laossi K, Barot S, Carvalho D, Desjardins T, Lavelle P, Martins M, Mitja D, Rendeiro A, Rousseau G, Sarrazin M, Velazquez E, Grimaldi M, yuca; entre tanto, el pastoreo de animales en los arreglos silvopastoril y monocultivo producen efectos negativos sobre las características físicas del suelo, con incremento de la densidad aparente, reducciones de la porosidad y de la infiltración.
- P. quinata* mediante la caída de la hojarasca, aporta al suelo cada año cantidades variables de minerales.
2008. Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian pastures. *Pedobiología* 51:397-407.
- Lavelle P. 1994. Fauna activity and soil and soil process: adaptive strategies that determine ecosystem function. En: XV World Congress of Soil Science. Vol 1: Inaugural and state of the art conferences. Acapulco, México. p. 104.
- López-Díaz M, Rigueiro-Rodríguez A, Mosquera-Losada M. 2008. Influence of pasture botanical composition and fertilization treatments on tree growth. *Forest Ecol Manag* 257:1363-1372.
- Mohammad R, Mohsen M, Arash M. 2005. Effects of livestock trampling on soil physical properties and vegetation cover (case study: Lar Rangeland, Iram). *Intl J Agric Biol* 7(6):904-908.
- Moreno-Andrés E, Rojas-Daniel F, Bonilla-Ruth R. 2011. Aplicación de diseños estadísticos secuenciales en la identificación de fuente nutricionales para *Azotobacter chroococcum* AC1. *Rev Corpoica* 12(2):151-158.
- Murillo J. 2002. Propiedades físicas del suelo y relación con los sistemas de labranza. En: Memoria Foro Tecnológico: Estrategias de Organización, Comercialización y Tecnológicas para Mejorar la Competitividad del Sistema de Producción del Algodón en Cesar y la Guajira. Plan Nacional de Algodón. pp. 27-30.
- Novo R. 1983. Microbiología del suelo y biofertilización. En: Memorias de la Fundación de Asesorías para el Sector Rural. Bogotá: FUNDASES. p. 101.
- Pérez E. 2005. Qualidade física de um vertissolo e produçao forrageira em campo nativo melhorado, com irrigação e pastoreio [Tesis de doctorado]. Santa María, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria.
- Ramírez J, Zapata C, León J, González M. 2007. Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos Andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Rev Interciencia* 32:303-311.
- Rois M, Mosquero R, Rigueiro A. 2006. Biodiversity indicators on silvopastoralism across Europe. En: EFI Technical Report. Lugo, España: European Forest Institute; University of Santiago de Compostela. p. 9.
- Roncallo B, Rojas-Tapias D, Bonilla R. 2012. Implementation of a production system conformed by guinea grass and *Eucalyptus*, managed on the sustainable approach base on the inoculation of indigenous *Azotobacter* strains. En: 13th Symposium on Biological Nitrogen Fixation with Non-Legumes. Neuherberg/Munich, Alemania. p. 47.
- Roncallo B, Bonilla R, Barros J, Murillo J, Del Toro R. 2009. Evaluación de arreglos agrosilvopastoriles en explotaciones ganaderas de la microrregión bajo Magdalena. *Rev Corpoica* 10(1):62-63.
- Salton JC, De Faccio PC. 2007. Heterogeneidade da pastagem – causas e consequências. Documento No. 91. E: Embrapa. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/254597>; consulta: octubre, 2012.

- Salton JC, De Mello N, Matsuoka M, De Faccio P, Nabinger C, Bayer C, Mielniczuk J. 2008. Atributos físicos de um Argisole sob pastagem natural apesar de 18 anos sob diferentes níveis de ofertas de forragem. Rev Cienc Agrovet 7(2):107-118.
- Salton JC, Mielniczuk J, Bayer C. 2005. Materia orgánica do solo na integração lavoura – pecuária em Mato Grosso do Sul. Dourados, Brasil: Embrapa.
- Simón L, Hernández M, Reyes F, Sánchez S. 2005. Efecto de las leguminosas arbóreas en el suelo y en la productividad de cultivos acompañantes. Pastos y Forrajes 28(1):29.
- Souza ED. 2008. Evolução da matéria orgânica, do fósforo e da agregação em sistema de integração agricultura – pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo [Tese de doutorado]. Porto Alegre, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Souza ED, Costa SEVGA, Anghinoni I, Lima CVS, Carvalho PCF, Martins AP. 2010. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura – pecuária em plantio direto, submetido a intensidade de pastejo. Rev. Bras. Cienc. Solo 34:79-88.
- Taboada M. 2007. Efecto del pisoteo y pastoreo animal sobre los suelos en siembra directa. En: Sitio Argentino de producción animal, <http://www.produccion-animal.com.ar>; consulta: Noviembre, 2012.
- t'Mannetje L. 1978. Measurement of grassland vegetation and animal production. Bulletin No. 52. Hurley, UK: Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops.
- Vizzoto V, Marchezam E, Segabinazzi T. 2000. Efeito do pisoteio bovino en algumas propiedades físicas do solo de várzea. Cienc Rural 3(6):183-189.
- Volverás B, Amézquita CE. 2009. Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempos de uso en laderas andinas de Nariño Colombia. Acta Agron 58(1):35-39.