

Artículos de Investigación Científica y Tecnológica

DOI:10.18684/BSAA(13)11-21

# VARIABLES BIOFÍSICAS DE DOCE SISTEMAS AGROSILVOPASTORILES EN LA MESETA DE POPAYÁN - CAUCA

## VARIABLE BIOPHYSICS OF TWELVE SYSTEMS AGROSILVOPASTORILES IN THE PLATEAU OF POPAYÁN – CAUCA

## VARIÁVEIS BIOFÍSICAS DE DOZE SISTEMAS AGROSILVOPASTORILES NO PLANALTO DE POPAYÁN - CAUCA

SANDRA MORALES-VELASCO<sup>1</sup>, NELSON JOSE VIVAS-QUILA<sup>2</sup>, VANESA GOMEZ-MEDINA<sup>3</sup>

### RESUMEN

*En doce sistemas agrosilvopastoriles en etapa de establecimiento, se midieron las variables biofísicas (Temperatura, humedad, Radiación, flora asociada y suelo), con el fin de determinar las variables condicionantes para la producción silvopastoril en la meseta de Popayán. Para tal fin se realizaron correlaciones de Pearson, análisis de componentes principales y dendrograma de agrupamiento. Se halló que las variables microclimáticas son acordes a la adaptación de los forrajes cultivados, se identificaron 48 especies de flora asociada importantes en la alimentación animal y la protección de los recursos naturales. Al realizar el análisis de componentes principales se encontró que las variables más influyentes fueron la materia orgánica seguida de la radiación solar y la infiltración. El análisis de agrupamiento encontró tres grupos, el grupo A. conformado por los sistemas caracterizados por tener una radiación solar alta y un contenido de materia orgánica medio. El grupo B. tienen una radiación solar media y un contenido de materia orgánica bajo y el grupo C. muestra una baja radiación y alto contenido de materia orgánica.*

**Recibido para evaluación:** 22 de julio de 2015. **Aprobado para publicación:** 5 de octubre de 2015

- 1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria. Profesora Titular, Magister en Recursos Hidrobiológicos, Ecóloga. Popayán, Colombia
- 2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria. Profesor Titular, Doctor en Ciencias Agropecuarias, Zootecnista. Popayán, Colombia
- 3 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria, Ingeniera Agropecuaria. Popayán, Colombia

**Correspondencia:** samorales@unicauca.edu.co

## ABSTRACT

*In twelve systems agrosilvopastoriles in stage of establishment, there measured up the variable biophysics (Temperature, dampness, Radiation, associate flora and I occur), in order to determine the determining variables for the production silvopastoril in Popayán's plateau. For such an end there were realized Pearson's correlations, analysis of principal components and dendrograma of grouping. One found that the microclimatic variables are identical to the adjustment of the cultivated forages, there were identified 48 important species of associate flora in the animal feed and the protection of the natural resources. On having realized the analysis of principal components one thought that the most influential variables were the organic matter followed by the solar radiation and the infiltration. The analysis of grouping found three groups, the group A. shaped by the systems characterized for having a solar high radiation and a content of organic matter I happen. The group B. they have a solar average radiation and a content of organic matter under and the group C. shows a low radiation and high place contained of organic matter.*

## RESUMO

*Em doze agrosilvopastoriles de sistemas em fase de estabelecimento, as variáveis biofísicas (Temperatura, umidade, Radiação, flora associada e eu são acostumadas) estavam medidas, com o propósito de determinar as variáveis de condicionamento para o silvopastoril de produção no planalto de Popayán. Para tal um fim eles foram levados fora correlações de Pearson, análise de componentes principais e dendrograma de agrupamento. Ele/ela era que o microclimáticas variável é de acordo à adaptação das forragens cultas, foram identificadas 48 espécies importantes de flora associada na alimentação de animal e a proteção dos recursos naturais. Ao levar a cabo a análise de componentes principais foi achado que as variáveis mais influentes eram o problema orgânico seguido pela radiação solar e a infiltração. A análise de agrupamento achou três grupos, o grupo A. conformado pelos sistemas caracterizou para ter uma radiação alta solar e um conteúdo meio de assunto orgânico. O grupo B. eles têm uma radiação meio solar e um conteúdo de assunto orgânico abaixo e o grupo C. mostra uma baixa radiação e conteúdo alto de assunto orgânico.*

## INTRODUCCIÓN

En el Departamento del Cauca la ganadería se basa en una producción doble propósito, con una base genética en proceso de mejoramiento y adaptada a las ecóregiones, pastos potencialmente mejorables donde hay infraestructura ganadera adecuada para el manejo en finca [1].

Estudios realizados evidencian que la ganadería en la meseta de Popayán son de tendencia extensiva, basada en pasturas degradadas sin manejo y mejoramiento de la pradera, con poca utilización de árboles como complemento alimenticio [2], situación que ha llevado a evaluar diferentes estra-

## PALABRAS CLAVE:

Materia Orgánica, Producción, Agrupamiento.

## KEYWORDS:

Organic matter, Production, Grouping.

## PALAVRAS CHAVES:

A matéria orgânica, Produção, Agrupamento.

teguas silvopastoriles para ser incluida en los diseños agropecuarios, entre las que se destaca la adaptabilidad de la *Leucena diversifolia* en esta región [2, 3], resultados usados en la instalación de 250 ha por parte del Comité de Ganaderos de este departamento y la Corporación Regional del Cauca.

La instalación estratégica de plantas arbóreas y arbustivas en las áreas de pastoreo se presenta como una alternativa tecnológica que contribuye a mejorar la competitividad de los productos del sector ganadero y a disminuir el impacto de la ganadería sobre los ecosistemas en que se desarrolla. La combinación de gramíneas con plantas forrajeras de hábito arbustivo y arbóreo permite aumentar la oferta de forraje, en particular durante el periodo seco, y mejorar la calidad de la dieta a lo largo del año. Así mismo, la incorporación de arbóreas y arbustivas en las praderas tiene efectos positivos sobre la productividad total de la pradera, ya que la diversificación de la composición de la cobertura vegetal, estimula la conservación y el reciclaje de nutrientes [3].

En la presente investigación se documenta la caracterización biofísica de doce sistemas agrosilvopastoriles en su etapa de establecimiento.

## MÉTODO

### Localización

Se seleccionaron doce fincas ubicadas en la meseta de Popayán, que se localiza en el centro del Departamento del Cauca, entre los 1600 y 1900 msnm con un relieve ondulado donde alternan pendientes entre el 10 al 30%. Esta área corresponde a la zona de vida de Bosque húmedo Montano Bajo (Bh-MB).

Según los registros tomados en la estación meteorológica del aeropuerto Guillermo León Valencia (Popayán), la zona reporta una precipitación promedio anual de 2132 mm y una temperatura promedio de 19°C, según Caldas y Lang se considera clima templado húmedo (TH) [4]. En el cuadro 1 se anotan las doce fincas.

Los árboles frutales (*Persea americana*, *Citrus sp*) fueron sembrados como división interna de los potreros a una distancia de 10 m y entre estos *Leucaena diversifolia*, *Acacia de currens* a 2 m.

**Cuadro 1.** Arreglo agrosilvopastoriles de los 12 sistemas.

Finca	Gramínea
Villa Luisa	<i>Brachiaria brizantha</i> .
La Sultana	<i>Brachiaria brizantha</i> - <i>Brachiaria híbrido (Mulato)</i>
El Sena	<i>Cynodon lemfluensis</i> (Estrella africana)
La Argentina	<i>Brachiaria brizantha</i> - <i>Brachiaria híbrido (Mulato)</i>
Santa Ana	<i>Brachiaria decumbens</i>
El Retoño	<i>Brachiaria brizantha</i>
Palacé	<i>Brachiaria decumbens</i>
Villa Alina	<i>Brachiaria brizantha</i>
La Esperanza	<i>Brachiaria brizantha</i>
Palenque	<i>Brachiaria de cumbens</i>
El Cariñito	<i>Brachiaria brizantha</i>
La Rejoya	<i>Brachiaria de cumbens</i>

### Variables microclimáticas

Se tomaron registros durante épocas de sequía y de lluvia. La radiación solar se midió empleando el luxómetro digital desde las 8 am hasta las 2 pm para tener un mediano recorrido por los potreros, debido a que los arbustos en el momento de las mediciones presentaban un dosel pequeño. La humedad relativa y la temperatura se registraron mediante el uso del higrotermómetro durante tres veces en época de lluvia y tres veces en época seca con tres repeticiones y una frecuencia semanal.

**Flora asociada a los sistemas.** Para la colección en campo del material vegetal se llevaron bolsas papel de 30 x 40 cm, cada planta colectada en cada una de las fincas se empacó debidamente en la bolsa de papel con su respectivo rotulo, para posteriormente llevarlas a un sistema de secado. Para evitar el deterioro de las muestras vegetales se les aplicó alcohol diluido al 90%, para su posterior identificación en el herbario de la Universidad del Cauca.

**Suelo.** En cuanto a las variables relacionadas con el suelo se tuvieron en cuenta las siguientes características.

**Químicas.** Para este análisis (pH, Materia Orgánica, P-Brayll, K, Ca, Mg, Al, Na, Al-Sat, S, Arena, Limo, Arcilla, Textura y Estructura) se tomaron tres muestras al azar a 20 cm de profundidad en cada uno de los arreglos silvopastoriles para ser enviadas al CIAT

(Centro de Investigación de Agricultura Tropical) donde se realizó el análisis correspondiente.

**Respiración.** Se hicieron mediciones siguiendo la metodología [5], para lo cual se puso en el suelo un recipiente con 30 mL de NaOH (0,2N) cubierto con una tapa de plástico más grande y sellándose con tierra para evitar el ingreso aire. Se dejó por un periodo de veinticuatro horas, luego se llevó al laboratorio donde se le adicionaron 2 mL de BaCl<sub>2</sub> para precipitar el CO<sub>2</sub>, se adicionaron dos gotas de fenolftaleína para ser titulado con HCl de igual concentración.

Se calculó la cantidad de C – CO<sub>2</sub> mediante la siguiente fórmula [5]:

$$\frac{(mg\ C - [CO]_{-2}) / (\text{tiempo por área})}{(ml\ HCl_{muestra} - ml\ HCl_{testigo})(N)E / (\text{tiempo por área})} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

HCl muestra = mL de HCl utilizados para titular la muestra.

HCl testigo = promedio de mL de HCl utilizados para titular los testigos.

N = normalidad de NaOH y HCl.

E = peso miliequivalente de Carbono = 6 mg/meq.

A = área de la boca del recipiente de plástico.

**Características físicas del suelo.** Se realizó una calicata con una profundidad que varió de acuerdo al tipo de suelo que se encontró en el sistema, donde se realizaron las siguientes mediciones.

**Infiltración.** Se midió clavando el anillo estándar en PVC de 6 in en el suelo, afirmándose alrededor de los bordes internos, se vertieron los 444 mL de agua y se registró el tiempo que demora en penetrar en el suelo [6].

**Colonización de raíces por micorrizas.** Se realizó el montaje de las raíces y posterior cuantificación de micorrizas en el laboratorio para cada uno de los sistemas agrosilvopastoriles. La colonización mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Colonización} = \frac{\text{Número de campos colonizados}}{\text{Número de campos totales observados}} \times 100 \quad (\text{Ec.2})$$

Se estimó el grado de colonización total; usando las siguientes categorías [6]:

Colonización baja (0 – 20%)

Colonización media (20 – 50%)

Colonización alta (+ 50%)

## Análisis de Resultados

Se realizaron correlaciones Bivariadas de Pearson entre todas las variables analizadas con el fin de observar la relación entre las mismas, para lo cual se usó el programa SPSS 19.0. Se hizo un análisis de componentes principales para determinar las variables más influyentes en los sistemas agroforestales y un análisis de agrupamiento; usando el programa estadístico PAST.

## RESULTADOS

### Variables microclimáticas

**Temperatura.** Los valores variaron entre 16,5 y 24,6°C, correspondiendo a las características de la meseta de Popayán, la similaridad entre los registros obedece a que los sistemas están en estado de establecimiento y no se evidencian variaciones entre las fincas muestreadas y los promedios de la región [5].

**Humedad relativa.** Los registros oscilaron entre 55,33% al 89%, donde los mayores valores fueron en sistemas donde hubo mayor riqueza específicas de especies vegetales para las Fincas Villa Alina (14 sp), La Rejoya (13 sp), y El Retoño (15 sp), dado a que la cobertura arbórea puede ejercer una considerable influencia moderando la temperatura del aire y del suelo y aumentando la humedad relativa [9,10]. Ambos efectos son generalmente benéficos para el crecimiento de los cultivos y por ello son utilizados en muchos sistemas agroforestales [11] y la magnitud de estos beneficios depende de la cantidad de árboles, cuanto más se parezca el sistema a un monte cerrado, por su estructura de cobertura y por el espacio entre los árboles, mayores efectos benéficos tendrá sobre la humedad y la temperatura [10,11].

**Radiación solar.** Los valores se muestran en un rango de 314,84 lux a 736.00 lux. La alta radiación se presentó en las fincas la sultana y el SENA debido a la exposición directa de los rayos solares lo cual contrasta con el sistema la Rejoja, debido a la flora arbórea.

**Flora asociada.** En los sistemas se registraron 47 especies, de las cuales 14 tienen hábito herbáceo, 10 arbustivo y 27 ároboreas, las cuales están distribuidas en los linderos de los potreros (cuadro 2).

Las especies frutales como guamo (*Inga sp*), guayabilla (*Psidium sp*) y limón (*Citrus sp*) son importantes para la alimentación humana y de animales, favoreciendo la fauna silvestre, también se hallaron especies maderables como el guayacán Manizales

(*Lafoensia speciosa*), flor de mayo (*Tibouchina lepidota*), nogal cafetero (*Cordia alliodora*), cucharo (*Clusia discolor*), roble (*Quercus humboldtii*), entre otros, como especies importantes para la alimentación del ganado, es el caso de la leucaena (*Leucaena diversifolia*) y el nacedero (*Trichantera gigantea*) que igualmente es importante por su potencial de nacimiento de agua, usada como protectora del suelo y en zonas de restauración, usadas en sistemas agroforestales de clima medio y frío del departamento del Cauca [12]. Además se encontraron especies herbáceas muy invasivas como el helecho marranero (*Pteridium cadatum* (L.) Kuhn), también se hallaron coberturas nobles y protectoras del suelo contra la erosión como: *Commelina virginica* L., *Tripograndia cumanensis* (Kunth) y *Oxalis latifolia* H.B.K

**Cuadro 2.** Flora Asociada en los Sistemas Agrosilvopastoriles.

Especie	Fincas											
	VILLA ALINA	VILLA LUISA	LA SULTANA	LA ARGENTINA	SANTA ANA	EL RETOÑO	PALENQUE	LA ESPERANZA	LA REJOJA	PALACE	EL CARINITO	EL SENA
NOMBRE CIENTÍFICO												
<i>Trichantera gigantea</i>	X											
<i>Myrcia sp</i>	X							X			X	
<i>Lafoensia speciosa</i>	X						X					
<i>Mimosa quitensis</i>	X					X						
<i>Senna spectabilis</i>	X											
<i>Tibouchina lepidota</i>	X											
<i>Psidium sp</i>	X		X	X			X			X	X	
<i>Cordia alliodora</i>				X		X						
<i>Inga sp</i>						X	X		X		X	
<i>Clusia discolor</i>		X		X			X	X			X	
<i>Quercus humboldtii</i>		X						X			X	
<i>Euphorbia laurifolia</i>						X					X	
<i>Citrus sp</i>											X	
<i>Ochroma pyramidale</i>											X	
<i>Nectandra sp</i>											X	
<i>Citrus mandarina</i>											X	
<i>Eugenia malaccensis</i>			X	X								
<i>Cupresus sp</i>						X						
<i>Euphorbia cotinifolia</i>						X						
<i>Eriobotrya japónica</i>									X			
<i>Pteridium cadatum</i> (L.) Kuhn		X						X				
<i>Commelina diffusa</i> Burm. f .	X	X		X							X	X
<i>Commelina virginica</i> L					X		X			X	X	
<i>Tripograndia cumanensis</i> (Kunth)	X	X			X					X		

Especie	Fincas											
<i>Cyperus diffusus</i> Vahl							X	X	X			
<i>Cyperus ferax</i> (L.) Rich				X		X	X		X	X		
<i>Cyperus flavus</i> (Vahl) Nees		X		X		X		X				
<i>Dichromena ciliata</i> Vahl				X			X			X	X	X
<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottob	X				X							X
<i>Cenchrus echinatus</i>												
<i>Hypoxix decumbens</i> L		X										
<i>Ageratum conizides</i> L					X				X			
<i>Baccharis trinervis</i> (Lam) Pers	X										X	
<i>Bidens pilosa</i> L			X			X		X				
<i>Chaptalia nutans</i> (L.) Polak											X	
<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC.	X	X			X			X				
<i>Kohleria spicata</i> (H. B. K.) Oerst			X						X			
<i>Crotalaria micans</i>					X					X		
<i>Sida cuta</i> Burm f.				X			X	X	X			
<i>Clidemia hirta</i> (L) D. Don.	X		X			X						
<i>Oxalis corniculata</i> L			X		X							
<i>Oxalis latifolia</i> H. B. K.												
<i>Portulaca oleracea</i> L.	X			X					X			
<i>Mimosa pudica</i>								X				
<i>Rubus Idaeus</i>			X			X						
<i>Verbena officinalis</i> L.						X						
<i>Ricinus comunis</i>						X						
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>3</b>

**Características del suelo.** Los resultados se encuentran los requerimientos nutricionales para la siembra de pastos y forrajes en cada uno de los sistemas [13], dejando ver que la cantidad de los elementos presentes en el suelo no representa una limitante para el buen desarrollo de las plantas previamente establecidas en cada una de las fincas.

**Análisis químico.** En el cuadro 3, se observan las características físicas química de los sistemas.

Es de anotar que en el análisis de Pearson ( $0,01 \leq 0,05$ ) mostró correlaciones significativas (97%) entre el magnesio, el calcio, el fósforo y el potasio; dado a que el magnesio (Mg) es el elemento principal de la molécula de clorofila, favorece la absorción de fosforo participando como activador enzimático junto con el calcio y el potasio. La asimilación del magnesio está influenciada por la concentración de cationes como calcio y potasio, relaciones que contribuyen a un adecuado balance del suelo para brindar un óptimo equilibrio nutricional a las plantas y por consiguiente mejores producciones [14].

La relación encontrada entre la respiración y el potasio (K) ( $0,00 \leq 0,05$ ; significancia 65%) se puede explicar al rol en la activación de enzimas, que actúan en diversos procesos metabólicos tales como fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos, incidiendo en el balance de agua y en el crecimiento meristemático, que favorecen el crecimiento vegetativo, la fructificación, la maduración y la calidad de los frutos [14].

**Respiración del suelo.** El mayor registro fue de  $162,5 \text{Ug}(\text{C}-\text{CO}_2) \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$  para la finca La Rejoja y el menor de  $47 \text{Ug}(\text{C}-\text{CO}_2) \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2$  en La Esperanza, aunque no se evidenció una correlación significativa ( $0,15 \geq 0,05$ ; significancia 53%), se puede explicar con los contenidos de materia orgánica en el suelo de este lugar ( $156,23 \text{ g/kg}$ ) la cual se relaciona con la actividad biológica [6].

**Colonización de micorrizas.** En los sistemas evaluados la colonización por hongos micorrizicos fue alta con valores por encima del 70% [6], donde la Finca la Sultana presento un 83% y Villa Luisa con 74,6 %. (Figura 1).

**Cuadro 3.** Análisis fisicoquímico de suelos de los 12 sistemas agrosilvopastoriles.

Descripción	pH (Un)	MO (g/kg)	âP-Brayll (mg/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Al (cmol/kg)	Na (cmol/kg)	Al-Sat (%)	S (mg/kg)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura (Tex)
La Sultana	5,32	202,8	0,60	0,52	4,97	2,38	0,92	0,00	10,46	32,12	59,48	20,8	19,65	8
Santa Ana	5,06	284,4	0,74	0,20	2,69	0,53	1,63	0,00	32,29	36,72	47,55	31,5	20,87	2
Villa Luisa	5,48	155,6	0,13	0,15	0,30	0,10	0,31	0,00	35,83	148,98	46,23	37,9	15,80	2
El Cariñito	5,36	92,86	1,25	1,44	3,37	1,15	0,36	0,00	5,69	31,74	43,06	22,6	34,34	7
Palenque	4,95	242,1	0,60	0,20	3,49	0,66	0,82	0,00	15,86	50,53	43,44	36,4	20,13	2
Villa Lina	5,10	126,4	3,42	0,31	3,20	0,98	1,63	0,00	26,67	22,54	55,22	20,2	24,59	11
La Rejoya	5,43	241,1	3,66	0,50	8,24	3,64	0,20	0,00	1,59	47,08	56,62	25,3	18,02	8
La Argentina	5,35	225,5	0,77	0,14	4,07	0,71	0,46	0,00	8,56	91,55	47,43	32,2	20,32	2
La Esperanza	5,24	156,2	1,22	0,22	2,49	0,37	0,31	0,00	9,16	92,13	49,75	32,7	17,49	2
El Sena	5,30	173,8	1,80	0,40	4,15	1,61	0,66	0,00	15,46	57,87	51,05	27,3	21,59	6
El Retoño	5,95	44,35	6,76	0,36	11,61	6,67	0,00	0,05	0,00	18,32	54,18	25,2	20,56	11
Palacé	5,02	140,8	0,68	0,35	1,21	0,53	0,66	0,00	23,99	64,91	58,62	15,6	25,74	11
Tabla de conversión para textura. Los números corresponden a las siguientes descripciones:														
1 Arcilloso			4 Limoso			7 Franco Arcilloso			10 Arenoso Franco					
2 Franco			5 Arcillo Arenoso			8 Franco Arenoso			11 Franco Arcillo Arenoso					
3 Arenoso			6 Arcillo Limoso			9 Franco Limoso			12 Franco Arcillo Limoso					

El alto nivel de micorrización encontrados en el sistema radicular de las Brachiarias, evidencian la capacidad de colonizar mayor cantidad del suelo por el tipo de raíces (un centímetro de raíces sin micorrizas explora 1-2 cm<sup>3</sup> del suelo; con micorrizas desarrolla 5 a 200 veces), aumentando la eficiencia de captación de nutrientes del suelo, permitiendo de esta manera una resistencia y/o tolerancia a determinados patógenos del suelo, induciendo a la raíz a mantenerse activa durante más tiempo que si no estuviese micorrizada, unido a lo anterior permiten extraer el fósforo del "POOL" disponible, afectando directamente los procesos de solubilización y mine-

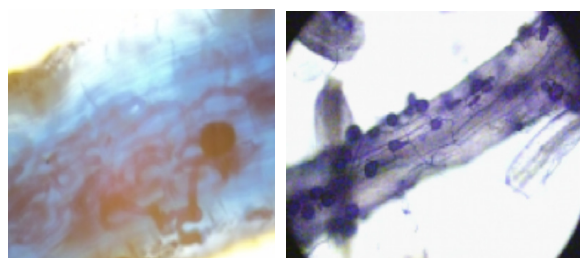
ralización, al sumársele en esta labor las hifas del hongo también captan con mayor facilidad ciertos elementos (Fósforo, Nitrógeno, Calcio y Potasio) y agua del suelo; condición que favorece el desarrollo de los sistemas [14].

**Análisis De Componentes Principales.** El cuadro 4 se muestra los resultados, evidenciando una homogeneidad entre los sistemas.

Lo anterior se explica por la localización geográfica de los sistemas, conocida como el Peniplano o meseta de Popayán, donde la formación geológica de los suelos son derivados de cenizas volcánicas y a que el componente arbóreo de los sistemas se encuentran en un estado inicial de desarrollo, lo que refleja una mínima variación del microclima en las fincas.

El presente análisis también evidencia la influencia de algunas variables sobre los sistemas agrosilvopastoriles, mostrando que la radiación solar es determinante para las fincas la Sultana (419 lux) y la esperanza (463,6 lux), donde se registraron los mayores valores (Figura 2).

**Figura 1.** Colonización de Micorrizas.



**Cuadro 4.** Tabla de Variabilidad.

Componente principal	Eigenvalue	% Varianza
1	11809,1	59,519
2	4825,37	24,32
3	2297,84	11,581
4	736,691	3,713
5	119,742	0,60351
6	35,566	0,17926
7	8,72869	0,043993
8	4,97643	0,025082
9	2,36535	0,011922
10	0,343238	0,0017299
11	0,196456	0,00099016
12	8,90E-30	4,49E-32
13	4,54E-64	2,29E-66

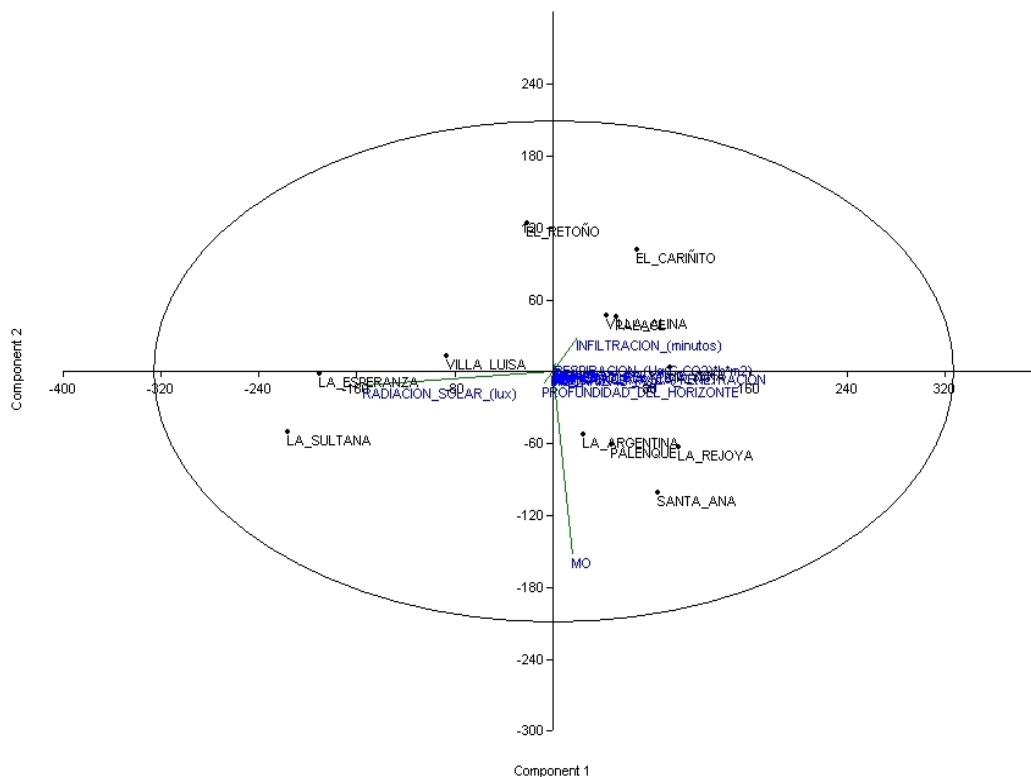
La materia orgánica, se evidencia en mayor proporción en las fincas Santa Ana (284,41 g/Kg), Palenque (242,14 g/Kg), La Rejoya (241,11 g/Kg) y La Argentina (225,5 g/Kg), localizadas principalmente

hacia el flanco occidental de la meseta de Popayán, a diferencia de los otros sistemas que se hallan hacia cordillera central.

La Infiltración se relaciona con la finca el cariñito, ya que en la época de lluvia no se pudo medir, dado al alto nivel freático; en Palacé el tiempo de infiltración fue de 86 minutos esto debido a la carencia en prácticas de renovación de praderas que junto con el sobrepastoreo han ocasionado perdida de las características físicas y químicas del suelo. En Villa Alina la infiltración fue de 6,5 minutos (entre las mejores infiltraciones), posiblemente dado por un pastoreo rotacional [15].

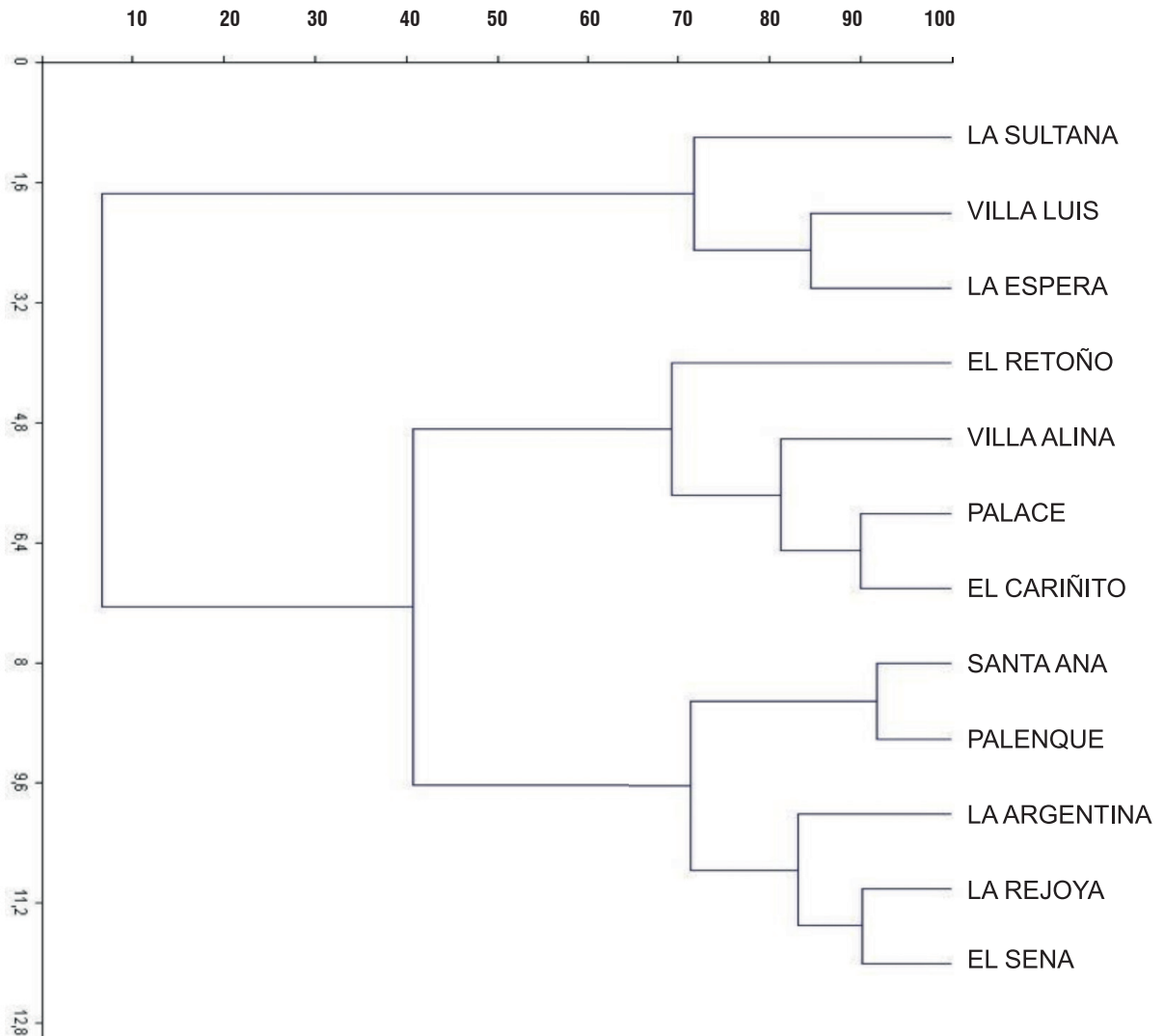
**Análisis de agrupamiento.** Teniendo en cuenta las variables más influyentes que se encontraron en el análisis de componentes principales, el dendograma de agrupamiento muestra tres grupos con el 72% de similitud, el primer grupo es conformado por los sistemas La Esperanza, Villa Luisa y La Sultana, se caracteriza por tener mayores registros en radiación solar 292,67 a 314,84 lux y un contenido de materia orgánica entre 155,6 y 202,88 (g/kg) (Figura 3).

**Figura 2.** Análisis de Componentes Principales de 12 sistemas silvopastoriles.





**Figura 3.** Dendograma de los 12 sistemas agrosilvopastoriles



La materia orgánica tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados y dando estabilidad estructural, uniéndose a las arcillas formando el complejo de cambio, que favorece la penetración del agua y su retención. En cuanto a su efecto sobre las propiedades biológicas, favorece los procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal, sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado [14].

El segundo grupo conformado por El Retoño, Villa Alina, El Cariñito y Palacé, tienen una radiación solar media de 281,26 lux y materia orgánica baja (140,80 g/kg). Y el tercero muestra una baja radiación 195,73 lux y alto contenido de materia orgánica (284,41 g/kg).

La influencia de la luz es importante para la germinación de las semillas y el movimiento de orientación de las plantas hacia la fuente de luz (fototropismo) [14,16], siendo los forrajes un cultivo heliófilo corrobora la relevancia de dicha variable en el óptimo desarrollo de los mismos.

## CONCLUSIONES

Las variables microclimáticas encontradas en los doce sistemas agrosilvopastoriles estuvieron acordes al rango de adaptación de los forrajes establecidos, resaltando la influencia de la variable radiación solar debido a que las gramíneas forrajeras son plantas C4.

La infiltración es una variable determinante en los sistemas agrosilvopastoriles y en las características biológicas del suelo, se encontró que todos los sistemas estudiados cuentan con un porcentaje alto de colonización de micorrizas, este factor mejora el cumplimiento de las funciones en las raíces y favorece su desarrollo.

El análisis multivariado reporta que las variables determinantes y que predominan en los sistemas agrosilvopastoriles fueron la materia orgánica, la radiación solar y la infiltración.

Es importante antes de establecer un sistema agrosilvopastoril conocer las variables climáticas de la zona para así escoger en forma acertada las especies forrajeras y arbóreas a establecer.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a los productores del Departamento del Cauca por su colaboración en el desarrollo de la investigación, al CIAT y a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, por el apoyo dado al desarrollo de la presente investigación. Al profesor Bernardo Ramírez y equipo técnico del Herbario de la Universidad del Cauca que contribuyeron en la identificación de la flora asociada a los sistemas silvopastoriles.

## REFERENCIAS

- [1] CÁMARA DE COMERCIO DEL CAUCA. Agenda Interna Para La Productividad Y La Competitividad. Popayán (Colombia): Documento Regional del Cauca, Apuestas Productivas, Agrocadena Ganadería, 2015, p. 215.
- [2] VIVAS-QUILA, N.J., MORALES-VELASCO, S., PETERS, L.H., HINCAPIE, B. y RENDÓN, E. Evaluación agronómica de ocho accesiones de *Leucaena diversifolia* en dos ambientes diferentes de la meseta de Popayán. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 24(3), 2011, p. 211.
- [3] MARTINEZ-MAMIAN, C.A. Evaluación agronómica de 23 accesiones de *Leucaena diversifolia* en el peniplano de Popayán [Tesis Maestría Producción Animal Tropical]. Palmira (Colombia): Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, 2014, 150 p.
- [2] MURGUEITIO, E., CHARÁ, D., SOLARTE, A., URIBE, F., ZAPATA, C. y RIVERA, J.E. Agroforestería Pecuaria y Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPI) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 26(1), 2013, p. 313-316.
- [3] COLOMBIA. INSTITUTO DE METEOROLOGÍA, HIDROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Atlas climatológico de Colombia: Cauca [en línea]. 2013, Disponible en internet: <http://www.ideam.gov.co/atlas/mclima.htm>. [citado en enero 22 de 2015].
- [4] SWICHER, M.E. Manual para el estudio de campo. Módulo1: La ecología de la parcela. Miami (USA): Universidad de la Florida, 1999, 84 p.
- [5] UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Washington (USA): 1999, 88 p.
- [6] GUERRA, B.E. y CHACÓN, M.R. Cimbiosis micorrizica arbuscular y acumulación de aluminio en *Brachiaria decumbens* y *Manihot esculenta*. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 10(2), 2012, p. 87 – 98.
- [7] CERDÁN, C.R., REBOLLEDO, M.C., SOTO, G., RAPIDEL, B. and SINCLAIR, F.L. Local knowledge of impacts of tree cover on ecosystem services in smallholder coffee production systems. Agricultural Systems, 110(1), 2012, p. 119-130.
- [8] MONTAGNINI, F., IBRAHIM, I. and MURGUEITIO, E. Silvopastoral systems and climate change mitigation in Latin America. Bois et Forêts des Tropiques, 316(2), 2013, p.3-16.
- [9] RIVERA, L., ARMBRECHT, I. and CALLE, Z. Silvopastoral systems and ant diversity conservation in a cattle-dominated landscape of the Colombian Andes. Agriculture, Ecosystems and Environment, 181(1), 2013, p.188-194.
- [10] ARBOLEDA, D.A., TOMBE, A.A., MORALES-VELASCO, S. y VIVAS-QUILA, N.J. Propuesta para el establecimiento de especies arbóreas y arbustivas con potencial forrajero: en sistemas de producción ganadera del trópico alto colombiano. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 11(1), 2013, p. 154-163.

- [11] JARAMILLO-MOSQUERA, S. y CÓRDOBA, M.S. Transferencia de conocimiento a propietarios de pequeñas empresas ganaderas. Pastos y forrajes. Popayán (Colombia): Equipo de apoyo Comité de Ganaderos del Cauca, 2009.
- [12] VIRGINIO-FILHO, E.D.M., CASANOVES, F., HGGAR, J., STAVAR, C., SOTO, G., AVELINO, J., TAPIA, A., MERLO, M., SALGADO, J., NOPONEN, M., PERDOMO, Y. y VASQUEZ A. En : Sistemas Agroforestales. Funciones Productiva, Socioeconómica y Ambiental. Cali (Colombia): Serie Técnica Informe Técnico 402 CATIE, Fundación CIPAV, 2015, p. 131-151.
- [13] MACHADO-PINHEIRO, L.C. Pastoreo Racional Voisin. Tecnología Agroecológica para el Tercer Milenio. 1 ed. Buenos Aires (Argentina): Hemisferio Sur, 2004, 360 p.
- [14] VALLEJO, V.E., ARBELI, Z., TERÁN, W., LORENZ, N., DICK, R.P. and ROLDAN, F. Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. Agriculture, Ecosystems and Environment, 150(1), 2012, p.139-148.