



EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE CAPTURA DE CARBONO EN UN SISTEMA PASTORIL DE *Brachiaria Brizantha*, EN LA SUBCUENCA ALTA DEL RÍO LAS PIEDRAS Y EL MUNICIPIO DE POPAYÁN

Cristian Gasca Silva¹ ✉, Edier Humberto Pérez², Apolinar Figueroa Casas³

Grupo de Estudios Ambientales (GEA), Departamento de Biología, Universidad del Cauca, Colombia.



¹cgasca@unicauca.edu.co

Tel. 57 (2) 3003482619

²ehperez@unicauca.edu.co

Tel. 57 (2) 8209800

Ext 2611, 2607

³apolinarfigueroa@gmail.com

Tel. 57 (2) 8209800

Ext 2607, 2645

Palabras clave:

Captura de carbono, suelos, *Brachiaria brizantha*

RESUMEN

*La sub-cuenca alta del río Las Piedras, situado al noreste de Popayán en el flanco occidental de la cordillera central, abastece de agua a la ciudad, dirigiendo sus recursos de agua a la planta de tratamiento de agua "El Tablazo". En la región de Las Piedras, las comunidades locales participan en los procesos de expansión de la frontera ganadera que tienen un efecto perjudicial sobre la calidad del agua. El uso de mejor calidad de pastos podría reducir la necesidad de expansión. Este estudio en la microcuenca Arrayanales buscó determinar el nivel de captura de carbono en el pasto Toledo (*Brachiaria brizantha*) por el método de inventario, identificación de la tasa de crecimiento fotosintético en los niveles aéreos y raíces, así como el análisis de carbono total mediante el método COT. La investigación fue llevada a cabo a una altitud de aproximadamente 2.600 msnm y coordenadas 76 ° 31 '10 "W y 2 ° 21 '45" Norte. También se determinaron las propiedades físicas y químicas de los suelos en el laboratorio de Agroquímica de la Universidad del Cauca, mientras que el análisis bromatológico se llevó a cabo en el pasto bajo estudio para evaluar la calidad nutricional. Se encontró que en Arrayanales, el nivel de captura de carbono es inferior al encontrado en Popayán; estos niveles son consistentes con los datos obtenidos a partir del análisis del carbono orgánico total. La tasa de crecimiento fotosintético es mayor en Popayán porque las condiciones ambientales de temperatura, altitud, humedad, y tasa de precipitación, etc., favorecen el crecimiento del pasto. Los suelos de esta región son de origen alofánico, mostraron un pH bajo y un nivel intermedio de macro y micronutrientes. Esto favorece su uso potencial para diversos cultivos, es decir, el uso de este recurso suelo para actividades distintas de la ganadería.*

EVALUATION OF CARBON CAPTURE POTENTIAL IN A PASTORAL SYSTEM OF *Brachiaria Brizantha*, IN THE UPPER SUB-BASIN OF LAS PIEDRAS RIVER AND MUNICIPALITY POPAYAN

Key words:

Carbon capture, soils, *Brachiaria brizantha*

SUELOS ECUATORIALES

44 (1): 42-50

ISSN 0562-5351

ABSTRACT

*The upper sub-basin of the Las Piedras river, located northeast of Popayan on the western flank of the central mountain range, supplies water to the city of Popayán, directing its water resource to the "El Tablazo" water treatment plant. In the Las Piedras region, local communities are engaged in livestock frontier expansion processes that have a detrimental effect on water quality. Use of better quality grasses could reduce the need for expansion. This study in the Arrayanales microbasin of the river sought to determine the level of carbon capture by Toledo grass (*Brachiaria brizantha*) by the inventory method, identifying the photosynthetic growth rate at the aerial and root levels, as well as total carbon analysis using the COT method. The research was carried out at an altitude of approximately 2.600msnm and coordinates 76 ° 31 '10 "West and 2 ° 21' 45" North. Physical and chemical properties of the soils were also determined in the Agrochemical Laboratory of the University of Cauca, while bromatological analysis was carried out on the grass under study to assess the nutritional quality. It was found that in Arrayanales, the carbon capture level is lower than that found in Popayan; these levels are consistent with the data obtained from the analysis of total organic carbon. The photosynthetic growth rate is higher in Popayan because the environmental conditions of temperature, altitude, humidity, and precipitation rate, etc., favor grass growth. The soils of this region are allophanic in origin. They showed a low pH and an intermediate level of macro and micronutrients. This favors their potential use for diverse crops, i.e. using this soil resource for activities other than livestock.*

INTRODUCCIÓN

La subcuenca del río Las Piedras está ubicada al noreste del municipio de Popayán, sobre el flanco occidental de la cordillera Central, hace parte de la cuenca alta del río Cauca. La temperatura media de la región es relativamente estable; su variación está determinada por los pisos altitudinales y varía entre los 18.4 °C en la parte baja y los 10.4 °C en el páramo. El rango de altitud de la cuenca es 3820-1980 m.s.n.m.; presentando los pisos térmicos páramo, frío y templado, que corresponde a las formaciones de bosque subandino y bosque andino (Aldana, Bravo, Montoya, Roatta, & Ruiz, 2004; UDC & COLCIENCIAS, 2012).

En Colombia, particularmente en el departamento del Cauca, los procesos de antropización están afectando los ecosistemas altoandinos, generando efectos negativos en especies animales y vegetales, además de los recursos naturales agua y suelo (CCC, 1999; CRC, 2000; Paz, 2011; Ramírez Velásquez & Ortíz Ramírez, 1988). Actualmente, se observan procesos antrópicos que son de interés para el estudio del impacto ambiental por causa de estas actividades; como la subcuenca abastece de agua para consumo humano a la Meseta de Popayán, la dinámica de los ciclos biogeoquímicos de carbono en esta cuenca resultan de vital importancia, y cualquier perturbación antropogénica se verá reflejada en la calidad de los recursos mencionados (CCC, 1999; Paz, 2011).

Debido a que este tipo de agroecosistemas en general, acumulan carbono en cuatro grandes componentes (Giraldo, Zapata, & Montoya, 2008; Rodríguez, Corrales, & Pratt, 1998): biomasa aérea (o biomasa sobre el suelo), hojarasca, sistema radicular y carbono orgánico del suelo, se plantea esta propuesta, como una base para identificar el impacto ambiental de los cultivos de pastos, particularmente de la especie *Brachiaria brizantha*, destinados para pastoreo y su relación con la calidad nutricional de los suelos altoandinos en el municipio de Popayán y en la cuenca alta del río las Piedras. Conocer estos fenómenos aportará en la determinación de los niveles de captación de carbono por estos cultivos, en diferentes estadios de desarrollo de la planta, promoviendo efectos benéficos para el ambiente por su contribución en la mitigación del cambio climático a causa de la captura del dióxido de carbono atmosférico, además

de evaluar las condiciones químicas del suelo donde se desarrollan este tipo de cultivos.

Los suelos de esta zona están destinados en su mayoría a la ganadería, la relación entre la calidad del suelo y el nivel nutricional del forraje de pasto cultivado, permitirá basar la alimentación en el uso intensivo de los pastos y forrajes, debido a que pueden producir a bajo costo una parte sustancial de los nutrientes requeridos por los hatos de ganado bovino (Sánchez, 2000). Para que las pasturas realmente hagan aportes significativos a la economía en esta región, será significativo que el productor conozca el estado fisiológico de mayor producción y mejor calidad en que debe cosecharlas, así como sus bondades y limitaciones para satisfacer las necesidades nutricionales de los animales, razón por la cual se propone el análisis bromatológico del forraje de *B. brizantha*.

METODOLOGÍA

Zona de muestreo

La investigación se desarrolló en el Departamento del Cauca, Municipio de Popayán y en la vereda Clarete, finca Arrayanales, ubicada en la sub cuenca alta del Río las Piedras, con coordenadas 76° 31' 10" Oeste y 2° 21' 45" Norte, a una altura aproximada de 2464 m.s.n.m., con un rango de temperatura entre 10 - 14 °C y una precipitación anual de 1946.5 mm. (Aldana, *et al.*, 2004). El municipio de Popayán se encuentra a una altura aproximada de 1850 m.s.n.m., presenta un rango de temperatura de 12 - 25 °C y precipitación anual de 2140 mm (Wille & Hooghiemstra, 2000).

SUELOS

Muestreo

Se delimitó un área de muestreo, teniendo en cuenta el tipo de uso del mismo. Se definió una parcela de cultivo, sin intervención antrópica, de un área de 200 m². Se procedió a tomar una muestra compuesta (conformada por 10 submuestras), en 3 secciones de la parcela, a una profundidad de 10 cm, recolectándolas cada metro siguiendo una trayectoria en zigzag; posteriormente se almacenó aproximadamente 1 Kg de la muestra y se llevó a sequedad a 35° para los posteriores análisis.

Análisis Químico

El análisis químico de suelos se realizó en el laboratorio de Agroquímica de la Universidad del Cauca con base en protocolos estandarizados de trabajo (Codazzi, 2006; Mosquera, Bravo, & Hansen, 2007; Rebecca, 2004). Se estudiaron tres muestras de suelo (análisis por triplicado), una correspondiente a las condiciones iniciales del suelo, y las dos restantes correspondientes al estadio final de cultivo en las dos zonas de estudio. Los parámetros analizados fueron: densidad aparente, textura, humedad de campo, humedad higroscópica, pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, azufre, carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico (CIC), macronutrientes (Na, K, Ca y Mg) y micronutrientes (Fe, Mn, Cu y Zn).

BRACHIARIA BRIZANTHA

Muestreo

Definida la parcela de muestreo, se realizó un proceso de limpieza y arado en la misma. Se procedió a sembrar la semilla de *Brachiaria brizantha* cv. Toledo (Semillano, Registro importador ICA 961, Lote 672) a una distancia de un (1) metro entre cada una de ellas. En el municipio de Popayán, el cultivo se implementó en el laboratorio del Grupo de Estudios Ambientales (GEA), para ello se utilizaron dos cámaras ambientales BIOTRANERRE MARK III, simulando las condiciones ambientales del lugar de recolección original. La siembra de las semillas se realizó en materas plásticas con un volumen de 600 cm³.

Tasa de Crecimiento fotosintético

Para la estimación de la captura de carbono, con base en la tasa de crecimiento fotosintética (TCF), se aplicó el método de existencias (Seppänen, 2002). En este método se estiman las existencias de carbono en dos diferentes momentos y la diferencia entre ellos indica la cantidad de carbono fijado en la biomasa. El equivalente en dióxido de carbono indica la cantidad

de CO₂ absorbido de la atmósfera (Amézquita, Murgueitio, Ibrahim, & Ramírez, 2010; Amézquita *et al.*, 2006). El seguimiento de la TCF, en las dos zonas de estudio, se realizó por el primer mes cada quince días y por los tres meses subsecuentes cada 30 días. Se tomaron 5 muestras de pasto, de forma aleatoria simple, en cada estadio de desarrollo y se determinó la masa total, la masa aérea (correspondiente a tallo y hojas) y la masa radicular. Los resultados se expresaron en términos de porcentaje en peso.

Análisis elemental

El contenido de los elementos C, H, N y S total, en la muestra de pasto Toledo, se determinó en un analizador elemental Perkin Elmer 2400 Series II CHNS/O System, en el Laboratorio de Servicios Analíticos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Las muestras se analizaron por triplicado para cada estadio de desarrollo durante los meses de cultivo.

Análisis Bromatológico

El análisis bromatológico de las hojas de pasto, en las dos zonas de estudio, se realizó en la Unidad de Análisis Industriales (UAI) de la Universidad del Cauca, siguiendo protocolos estandarizados de trabajo (Carlier, Cottyn, & Aerts, 1976). Los análisis se desarrollaron por triplicado, en las muestras obtenidas al finalizar el periodo de cultivo. Se determinó Porcentaje de humedad, contenido de cenizas, proteína, grasa, fibra y carbohidratos totales.

RESULTADOS

En las tablas 1 a 4 se presentan los resultados de la investigación, con relación al análisis del suelo experimental, la captura de carbono por *Brachiaria brizantha*, el análisis elemental del pasto utilizado y el análisis proximal del forraje de pasto después de cuatro (4) meses de cultivo.

Tabla 1. Análisis de suelo al inicio y final del cultivo de *Brachiaria brizantha*

Parámetro analizado	Muestra			Parámetro analizado	Muestra		
	M1	Zona 2	Zona 1		M1	Zona 2	Zona 1
D. aparente (g/cm ³)	0,79±0,2 61,39±1,0	0,79±0,2 67,65±1,0	0,79±0,2 61,39±1,0	Fósforo (mg/Kg suelo)	22,9±0,5	33,8±0,5	38,4±0,5
H. de Campo (%)	3	3	3	Nitrógeno (%)	0,32±0,03	0,26±0,03	0,29±0,03
H. Higroscópica (%)	8,01±0,50 78,61±0,5	9,01±0,50 80,44±0,5	8,32±0,50 81,15±0,5	Azufre (mg/Kg suelo)	24,2±0,7	25,5±0,7	28,2±0,7
Arena total (%)	1	1	1	Mg ²⁺ (meq/100 g suelo)	16,58±0,02	13,01±0,02	8,03±0,02
Limo(%)	5,94±0,51 15,45±0,5	6,60±0,51 12,96±0,5	5,45±0,51 13,40±0,5	K ⁺ (meq/100 g suelo)	0,89±0,02	0,62±0,02	0,32±0,02
Arcilla total (%)	1	1	1	Na ⁺ (meq/100 g suelo)	0,83±0,02	0,60±0,02	0,42±0,02
Textura	Franco arenoso			Ca ²⁺ (meq/100 g suelo)	9,05±0,02 0,242±0,00	2,96±0,02 0,152±0,00	2,29±0,02 0,130±0,00
pH (1:2:5)	6,18±0,15	6,32±0,15	6,16±0,15	Fe ²⁺ (meq/100 g suelo)	1	1	1
Carbono orgánico (%)	6,68±0,25 11,51±0,2	7,07±0,25 12,20±0,2	7,06±0,25 12,17±0,2	Cu ²⁺ (meq/100 g suelo)	<0,0033 0,020±0,00	<0,0033 0,005±0,00	<0,0033 0,006±0,00
Materia orgánica (%)	5	5	5	Mn ²⁺ (meq/100 g suelo)	1	1	1
CIC (meq/100 g suelo)	47,9±0,6	45,6±0,6	50,7±0,6	Zn ²⁺ (meq/100 g suelo)	0,005±0,00 1	0,002±0,00 1	0,003±0,00 1

M1: Muestra de suelo en un tiempo 0 de iniciado el cultivo.

Zona 1. Muestra de Suelo en la subcuenca alta del Río las Piedras (Arrayanales), finalizado el tiempo de cultivo.

Zona 2. Muestra de Suelo de la ciudad de Popayán, finalizado el tiempo de cultivo.

Tabla 2. Captura de carbono por *Brachiaria brizantha* en la subcuenca de Arrayanales (zona 1) y Popayán (zona 2)

Tiempo (días)	Zona 1							
	Ton C/Ha				Ton CO ₂ /Ha			
	Total	Raiz	Tallo	Hojas	Total	Raiz	Tallo	Hojas
15	0,012	0,0055	0,0019	0,0044	0,043	0,020	0,0070	0,016
30	0,031	0,0082	0,0078	0,015	0,11	0,030	0,029	0,055
60	0,69	0,080	0,28	0,33	2,51	0,29	1,02	1,20
90	2,29	0,40	0,62	1,26	8,38	1,48	2,27	4,63
120	3,18	0,47	0,93	1,78	11,66	1,73	3,42	6,51
Tiempo (días)	Zona 2							
	Ton C/Ha				Ton CO ₂ /Ha			
	Total	Raiz	Tallo	Hojas	Total	Raiz	Tallo	Hojas
15	0,017	0,0013	0,0090	0,0070	0,063	0,0048	0,033	0,026
30	0,051	0,014	0,028	0,0093	0,19	0,051	0,10	0,034
60	0,33	0,22	0,061	0,046	1,20	0,81	0,22	0,17
90	0,54	0,33	0,10	0,11	1,98	1,21	0,37	0,40
120	0,93	0,56	0,14	0,23	3,41	2,05	0,51	0,84
150	1,57	0,87	0,20	0,50	5,76	3,19	0,73	1,83

Ton C/Ha: Toneladas de carbono por hectárea

Ton CO₂/Ha: Toneladas de CO₂ por hectárea.

Tabla 3. Análisis elemental del pasto Toledo.

Zona 1				
Tiempo (días)	%C	%H	%N	%S
15	38,05	9,73	11,67	0,27
30	37,62	9,87	65,00	0,22
60	37,00	9,57	80,13	0,17
90	37,56	9,55	16,07	0,15
120	38,62	9,09	25,34	0,16
150	59,21	14,70	48,63	0,17
Zona 2				
15	37,29	9,48	48,25	0,04
30	39,60	9,36	87,71	0,02
60	40,27	6,33	11,11	0,29
90	38,50	6,24	13,92	0,04
120	37,73	6,17	16,17	0,03

Tabla 4. Análisis proximal del forraje de pasto después de cuatro (4) meses de cultivo.

Muestra	Zona 1		Zona 2	
ANÁLISIS	Base Seca (%)	Base Húmeda (%)	Base Seca (%)	Base Húmeda (%)
Humedad (Muestra)	----	69.66 ± 3.04	----	76.93 ± 5.41
Materia Seca (Muestra)	100	30.34 ± 3.04	100	23.07 ± 5.41
Cenizas	4.22 ± 0.24	1.28 ± 0.07	6.52 ± 0.78	1.50 ± 0.18
Proteína (F=5.70)	58.52 ± 2.96	17.75 ± 0.90	70.34 ± 4.65	16.22 ± 1.07
Grasa	9.75 ± 0.02	2.96 ± 0.01	3.66 ± 0.02	0.84 ± 0.01
Fibra	15.32 ± 0.36	0.0148 ± 0.0003	16.58 ± 0.14	0.0154 ± 0.0001
Carbohidratos Totales	12.19	8.33	2.9	4.49

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Estimar el potencial de captura de carbono en un ecosistema es una tarea que dependerá de una serie de factores como la especie de planta o accesión de la misma, fertilidad del suelo, temperatura ambiente, irradiación solar, disponibilidad de agua y manejo de la planta (edad, estado vegetativo, frecuencia e intensidad de pastoreo o cosecha, nivel y clase de fertilizante utilizado, control de malezas, plagas y enfermedades). Para realizar una aproximación certera de este parámetro se debe tener en cuenta cada uno de estos factores y determinar qué condiciones favorecen mayormente la captura de este elemento a nivel atmosférico en un lugar específico (Hopkins, 2000).

Con base en lo anterior, y con el propósito de establecer el cultivo de pasto Toledo, se realizó el análisis químico de suelos, para conocer las condiciones nutricionales del terreno en el estadio inicial de la investigación. El análisis por absorción atómica de los macronutrientes indicó que las concentraciones de calcio, magnesio, potasio y sodio son superiores a los valores óptimos (> 6, 1.5, 0.25 y 0.1 meq/100 g de suelo respectivamente). Esto puede estar asociado a procesos de fertilización del suelo en cultivos previos a los del pasto implementado y a excesivo uso de abono en la zona para cultivo de hortalizas y frutas. El objetivo de estudiar este fenómeno se debe a la gran influencia en las características físicas y químicas del suelo debido a que permite conocer la capacidad de retención de los nutrientes añadidos con la fertilización o procedentes de la meteorización de rocas o mineralización de la

materia orgánica (Barrios *et al.*, 2005; Fassbender & Bornemisza, 1994; SCCS, 1990a).

Los suelos analizados presentaron una textura franco arenosa, que promueve la estabilización de la materia orgánica (MO) producto de su interacción con las arcillas y limos a pesar de su baja proporción. El bajo contenido de arcillas lo hace apropiado para aplicaciones agrícolas, por el drenaje y sus características migajosas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las proporciones de arenas, arcillas y limos no son cercanas, según se indica en la tabla 1, lo que implica que la capacidad de cambio del suelo es mayoritariamente producto de la contribución de cargas de la fase orgánica del suelo. A pesar de que el contenido de arena del suelo es elevado, el drenaje, y la aireación lo convierte en un suelo adecuado para el cultivo, permitiendo una fácil labranza, así mismo, el contenido de arcillas se asocia con un pH óptimo (Fassbender & Bornemisza, 1994; SCCS, 1990b).

El suelo presenta un alto contenido de MO, superior a 11%, convirtiéndose en un factor determinante en la capacidad de intercambio catiónico, > 45 meq/100 g suelo. Este valor se encuentra directamente asociado con el contenido de nitrógeno total de la muestra, superior al 0.26%, que lo hace rico en este elemento esencial para el desarrollo de las plantas. La alta cantidad de materia orgánica en este caso, aunada a las características arenosas implican que el suelo sea un potencial dentro de cultivo hortícola, debido a que la MO aporta una capacidad de cambio catiónico al medio, generando disponibilidad de oligoelementos para las plantas (Basamba, Barrios, Singh, & Rao, 2007; Montoya & Araujo, 1990a; Otero, Figueroa, Munoz, & Pena, 2011).

El análisis de los elementos menores (Cu, Mn, Fe, Zn), mostró que su disponibilidad se ve disminuida por la posibilidad de ser lixiviados y por la fortaleza de los quelatos formados en el suelo con la materia orgánica, que en una zona de humedad tan alta como la caucana es marcada. Pese a que el manganeso se encuentra en concentraciones bajas, éste puede inducir una deficiencia de hierro, debido a los efectos antagónicos que se establecen entre ambos (Fassbender & Bornemisza, 1994). Lo anterior se corroboró al determinar una concentración inferior de 25 ppm para este elemento. La disponibilidad de los elementos Cu, Zn y Fe es baja, con valores inferiores al nivel mínimo requerido por las plantas, sin embargo la concentración de Cu es mucho menor en

comparación con la del Zn debido a que se encuentra fuertemente retenido a la materia orgánica porque forma compuestos estables con los ácidos húmicos y fúlvicos (Barrios, *et al.*, 2005; Basamba, *et al.*, 2007).

Los resultados llevan a destacar algunas características relacionadas con el pH, debido a que las condiciones en que se encuentran estos suelos permiten ofrecerle una capacidad Buffer muy marcada, por lo que el desarrollo de las actividades de cultivo en los mismos presentará una gran efectividad (Rao *et al.*, 2004). Esta capacidad amortiguadora, es brindada por la gran cantidad de cargas negativas presentes en las arcillas y en la materia orgánica que es transformada en humus por acción de los microorganismos, confiriéndole grupos sustituyentes de anillos fenólicos oxidados a carboxilatos que se neutralizan al interactuar con los cationes presentes en la solución del suelo. Otro factor importante en el pH de las muestras es la formación de complejos órgano-minerales entre las arcillas y la materia orgánica (coloides) mediante enlaces iónicos estables, que además de contribuir amortiguando los cambios de pH, confieren mayor facilidad en el desplazamiento de nutrientes en el suelo para aprovechamiento por las plantas por medio de fenómenos de absorción en las raíces (Barrios, *et al.*, 2005; Basamba, *et al.*, 2007; SCCS, 1990b).

Al finalizar el periodo de cultivo en la zona de arrayanales y Popayán, se encontró que los niveles de carbono orgánico, materia orgánica, CIC y azufre no presentaron grandes variaciones. Cabe resaltar que durante el periodo de crecimiento del pasto se evitó la intervención humana en el mismo para no alterar los resultados de la investigación. El contenido de nitrógeno presentó disminución en las dos zonas, debido a que es un elemento esencial para el crecimiento del pasto y su buen desarrollo fisiológico. Los niveles de azufre y fósforo presentaron ligeras variaciones producto de su intercambio con los iones presentes en las arcillas, la materia orgánica, la solución del suelo y la planta durante el periodo de crecimiento (Mosquera, *et al.*, 2007; Zalba, 2002). De los macro-elementos, el calcio presentó mayor variación en su concentración, como un indicativo de su marcada dependencia para el buen desarrollo del cultivo. El sodio, el potasio y el magnesio también muestran una considerable disminución en su concentración, y debe tenerse en cuenta para suplir la carencia de estos elementos. Las concentraciones de

los micro-elementos esenciales fueron bajas y deben suplirse en este suelo, llevándolos a las condiciones óptimas para las diferentes prácticas agrícolas que se deseen desarrollar en el mismo.

La tasa de crecimiento fotosintético del pasto, expresada en ton C/Ha y ton CO₂/Ha, presentó un comportamiento creciente similar para los dos zonas de estudio, así, con el transcurso del tiempo la fijación del carbono atmosférico expresado en términos de dióxido de carbono fue aumentando, según se indica en la tabla 2. En la misma se evidencia la mayor captación de carbono en las muestras procedentes de la ciudad de Popayán, debido a que las condiciones ambientales favorecieron mayormente al desarrollo de la planta. Con base en los resultados del análisis elemental, tabla 3, el porcentaje de carbono de cada muestra de pasto se mantuvo constante durante los 120 días de cultivo y representa en promedio entre 37-39 % del peso total seco de la planta. Este mismo comportamiento se observó en las dos zonas de estudio, tanto con el azufre como con el hidrógeno, con algunas ligeras variaciones entre los 15 y 30 días de cultivo. El contenido de nitrógeno presentó un comportamiento variable, como un indicativo de los cambios en los requerimientos nutricionales proteicos durante los diferentes estadios de desarrollo de la planta, además de la posible síntesis de compuestos orgánicos con núcleos estructurales nitrogenados con base en las adaptaciones fisiológicas de la planta a los cambios ambientales (Argel, Hidalgo, & Lobo, 2000; Casaya Rodríguez, 2004; Pereira et al., 2008).

El análisis bromatológico de los forrajes indicó valores cercanos en cuanto a composición porcentual de contenido de humedad y materia seca. El contenido de cenizas, asociado a los minerales presentes en la muestra fue mayor en la zona 2, como un indicativo mayoritario de la presencia de macro y micro-elementos esenciales para la alimentación bovina. Sin embargo, considerando los resultados bajos con relación al contenido de micro-elementos en los suelos objeto de estudio, se puede prever que es necesario el uso de suplementos minerales para cubrir las necesidades nutricionales de rumiantes que los utilicen como fuente de alimento. Un comportamiento similar se encontró con relación al contenido de proteína, factor determinante para garantizar la calidad del pasto. El contenido de fibra fue similar en ambas muestras, mientras que el nivel de grasa y carbohidratos totales fue superior en la zona 1 debido

a la respuesta fisiológica de la planta en la zona de estudio, que es dependiente de las condiciones ambientales del lugar de cultivo.

En términos del valor nutricional de los pastos y su forraje, la relación entre la composición química y los requerimientos nutricionales del cultivo indican que presenta un valor nutricional medio-alto. Los forrajes que crecen en zonas frías tienen una cantidad mayor de pared celular y un contenido menor de carbohidratos de fácil fermentación en el rumen, es decir carbohidratos no fibrosos (CNF). Así mismo, esa pared celular es más lignificada y menos digestible. Los forrajes con menor contenido de fibra por lo general son más digestibles y se consumen en cantidades mayores que los forrajes con cantidades elevadas de esta fracción nutricional; en el forraje analizado el contenido de fibra fue óptimo y aportará a su digestibilidad con base en lo ya mencionado. El ganado lechero requiere de una cantidad mínima de fibra de composición química y características físicas apropiadas para mantener un consumo de materia seca y energía adecuados, mantener la fermentación ruminal normal, el porcentaje de grasa láctea y contribuir a la prevención de desbalances metabólicos durante el parto (Pereira, *et al.*, 2008; Van Soest, 1994).

CONCLUSIONES

Se estimó el potencial de captura de carbono retenido en la parte aérea y radicular de *Brachiaria brizantha*. Los resultados permiten evidenciar un potencial de captura total de 3,18 y 1,57 ton C/Ha en la ciudad de Popayán y en la cuenca alta del Rio las Piedras, respectivamente.

Se encontró que el porcentaje de carbono de cada muestra de pasto se mantuvo constante durante los 120 días de cultivo y representa en promedio entre 37-39 % del peso total seco de la planta. Este mismo comportamiento se observó en las dos zonas de estudio, tanto con el azufre como con el hidrógeno, con algunas ligeras variaciones entre los 15 y 30 días de cultivo. El contenido de nitrógeno presentó un comportamiento variable, como un indicativo de los cambios en los requerimientos fisiológicos de la planta.

Las condiciones nutricionales del suelo permiten ubicarlo en un nivel medio-alto de fertilidad, con un

alto contenido de macronutrientes y un nivel bajo de micronutrientes. Se recomienda el uso de correctivos nutricionales para suplir la deficiencia de algunos de estos elementos. Los suelos tienen un buen contenido de materia orgánica, valor de CIC y pH óptimo y una textura franco arenosa, que lo hace óptimo para la implementación de otros cultivos, además de los destinados para alimentación de ganado.

El análisis bromatológico indicó que el forraje de *Brachiaria brizantha* presenta un valor nutricional medio-alto en contenido de cenizas, proteína, grasa, fibra y carbohidratos totales, que lo hace apto para cubrir el requerimiento nutricional básico de bovinos en las zonas de estudio establecidas.

REFERENCIAS

- ALDANA, B. O., BRAVO, A. A., MONTOYA, L. C., ROATTA, A. H., & RUIZ, L. J. (2004). Estudio de adopción del Plan de Manejo Integral de la subcuenca del río las Piedras en el componente biofísico durante el periodo 1991-2003, municipio de Popayán, departamento del Cauca. Popayán.
- AMÉZQUITA, M. C., MURGUEITIO, E., IBRAHIM, M., & RAMÍREZ, B. (2010). Carbon sequestration in pasture and silvopastoral systems compared with native forests in ecosystems of tropical America. Paper presented at the Grassland carbon sequestration: management, policy and economics.
- AMÉZQUITA, M. C., VAN PUTTEN, B., IBRAHIM, M., RAMIREZ, B. L., GIRALDO, H., & GOMEZ, M. E. (2006). Recovery of degraded pasture areas and C-sequestration in ecosystems of tropical America. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 2(8), 1085-1090.
- ARGEL, P., HIDALGO, C., & LOBO, M. (2000). Pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110). Gramínea con crecimiento vigoroso con amplio rango de adaptación a condiciones de trópico húmedo y subhúmedo. Consorcio Tropileche. Boletín Técnico. MAG, Costa Rica, 18, 1-52.
- BARRIOS, E., COBO, J. G., RAO, I. M., THOMAS, R. J., AMÉZQUITA, E., JIMÉNEZ, J. J., & RONDÓN, M. A. (2005). Fallow management for soil fertility recovery in tropical Andean agroecosystems in Colombia. *Agriculture, ecosystems & environment*, 110(1), 29-42.
- BASAMBA, T., BARRIOS, E., SINGH, B., & RAO, I. M. (2007). Impact of planted fallows and a crop rotation on nitrogen mineralization and phosphorus and organic matter fractions on a Colombian volcanic-ash soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 77(2), 127-141.
- CARLIER, L., COTTYN, B., & AERTS, J. (1976). Apparent and true digestibility of the Weende components, cell content and cell wall of ryegrass. *Animal Feed Science and Technology*, 1(4), 607-617.
- CASAYA RODRÍGUEZ, T. A. (2004). Establecimiento del protocolo de multiplicación in vitro para pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110): fase I. Licenciatura, Universidad EARTH, Guácimo (Costa Rica).
- CCC. (1999). Expresiones ciudadanas e institucionales sobre el Ordenamiento Territorial del municipio de Popayán. Cámara de Comercio Departamento del Cauca.
- CODAZZI, I. G. A. (2006). Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá, D.C.: DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- CRC. (2000). Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Popayán. Popayán.
- FASSBENDER, H. W., & BORNEMISZA, E. (1994). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José (Costa Rica): Iica.
- GIRALDO, L. A., ZAPATA, M., & MONTOYA, E. (2008). Captura y flujo de carbono en un sistema silvopastoril de la zona Andina Colombiana. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 16(4), 215-220.
- HOPKINS, A. (2000). Grass: its production and utilization (3 ed.). Oxford, UK.: Blackwell Science Ltd.
- MOSQUERA, C. S., BRAVO, I., & HANSEN, E. W. (2007). Comportamiento estructural de los ácidos húmicos obtenidos de un suelo andisol del departamento del cauca. *Revista Colombiana de Química*, 36(1), 31-41.
- OTERO, J., FIGUEROA, A., MUNOZ, F., & PENA, M. (2011). Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area. *Ecological Engineering*, 37(12), 2035-2043.
- PAZ, L. P. (2011). Documento justificatorio para la declaración y regulación de los predios San Pedro, La Cabaña, El Motilonal, El Caimo y Loma Baja –vereda Quintana, como áreas de conservación por parte de la alcaldía municipal de Popayán, departamento del Cauca. Popayán: Alcaldía Municipal de Popayán.

- PEREIRA, D. H., PEREIRA, O. G., SILVA, B. C., LEÃO, M. I., VALADARES FILHO, S. C., & GARCIA, R. (2008). Nutrient intake and digestibility and ruminal parameters in beef cattle fed diets containing *Brachiaria brizantha* silage and concentrate at different ratios. *Animal Feed Science and Technology*, 140(1), 52-66.
- RAMÍREZ VELÁSQUEZ, A., & ORTÍZ RAMÍREZ, G. (1988). Uso y manejo de los suelos de la meseta de Popayán. Palmira (Colombia): Instituto Colombiano Agropecuario.
- RAO, I. M., BARRIOS, E., AMEZQUITA, E., FRIESEN, D. K., THOMAS, R., OBERSON, A., & SINGH, B. (2004). Soil phosphorus dynamics, acquisition and cycling in crop-pasture-fallow systems in low fertility tropical soils: A review from Latin America. Paper presented at the ciar Proceedings.
- REBECCA, B. (2004). Soil survey laboratory methods manual Soil Survey Laboratory Investigations Report (pp. 400). Washington, DC: USDA-NRCS. GPO.
- RODRÍGUEZ, J., CORRALES, L., & PRATT, L. (1998). Potencial de Carbono y Fijación de Dioxido de Carbono de la Biomasa en pie por encima del suelo en los bosques de la Republica de Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Nicaragua, Panama, Honduras. El Salvador.
- SÁNCHEZ, J. M. (2000). Utilización Eficiente de las Pasturas Tropicales en la Alimentación del Ganado Lechero. XI Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal. Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- SEPPÄNEN, P. (2002). Secuestro de carbono a través de plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo. *Foresta veracruzana*, 4(2), 51-58.
- SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO. SCCS. (1990a). Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego (3 ed.). Bogotá: SCCS.
- SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO. SCCS (1990b). Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia, 1-323.
- UDC, & COLCIENCIAS. (2012). Plan de monitoreo de variables climatológicas e hidrológicas: Cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos en la subcuenca río las Piedras – Cauca (pp. 1-61). Popayán: Universidad del Cauca-COLCIENCIAS.
- VAN SOEST, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. Rotterdam: Cornell University Press.
- WILLE, M., & HOOGHMSTRA, H. (2000). Paleoenvironmental history of the Popayán area since 27 000 yr BP at Timbio, Southern Colombia. Review of Palaeobotany and Palynology, 109(1), 45-63.
- ZALBA, P. (2002). Métodos alternativos para determinar las disponibilidades de fósforo en suelos agrícolas. *Ciencia del Suelo*, 20(1), 50-53.