

## CARACTERIZACIÓN DE LA FERTILIDAD QUÍMICA DE LOS SUELOS EN SISTEMAS PRODUCTIVOS DE LA ALTILLANURA PLANA, META, COLOMBIA

Hernando Delgado Huertas<sup>1</sup> 

Jorge Alberto Rangel<sup>2</sup> 

Amanda Silva Parra<sup>3</sup> 

Recibido el 23 de mayo de 2016, aprobado el 27 de marzo de 2017, actualizado el 19 de diciembre de 2017

DOI: 10.17151/luaz.2018.46.5

### RESUMEN

La Altillanura Plana de la Orinoquia de Colombia es por excelencia una despensa agropecuaria. Su fertilidad química dependerá principalmente de sistemas productivos que involucren un manejo de los suelos de manera apropiada y que incrementen los contenidos de la materia orgánica del suelo (MOS). Se aplicó un análisis de tipo multivariado con el objetivo de caracterizar la fertilidad química de los suelos en algunos sistemas productivos de la Altillanura Plana comparados con otros de Piedemonte del departamento del Meta, Oriente de Colombia. Fueron seleccionados cinco sistemas productivos en cada zona. Se encontró una alta variabilidad en las características químicas de los suelos, siendo la MOS y la acidez de los suelos las que tuvieron mayor capacidad discriminadora entre los sistemas productivos. El análisis de clúster conformó tres grupos bien definidos: suelos de alta, mediana y baja fertilidad; y aunque no se encontró un patrón definido en cuanto a los sistemas productivos que los caracterice en cada uno de los grupos, cinco de los sistemas productivos de Piedemonte estuvieron ubicados en suelos de baja fertilidad. Las pasturas mejoradas y los sistemas silvopastoriles (SPSs) de la Altillanura Plana son una buena opción para aumentar la fertilidad química de los suelos.

### PALABRAS CLAVES

Materia orgánica del suelo, fósforo disponible, bases intercambiables, sistemas agroforestales, Oxisoles.

### CHEMICAL CHARACTERIZATION OF SOIL FERTILITY IN PRODUCTION SYSTEMS OF A FLAT HIGH PLATEAU, META, COLOMBIA

### ABSTRACT

The flat high plateau of the Colombian Orinoquia is, par excellence, an agricultural pantry. Its chemical soil fertility depends mainly of productive systems that involve appropriate soil management that increment soil organic matter (SOM). A multivariate analysis was applied in order to characterize the soil chemical fertility in some productive systems of the flat high plateau compared to other foothills of the Department of Meta in the western region of Colombia. Five production systems were

selected for each zone. A high variability in the chemical characteristics of the soils was found, being SOM and the acidity of the soils the ones having greater discriminatory capacity among the productive systems. Cluster analysis consisted of three well-defined groups: high, medium and low fertility soils and, although a definite pattern of productive systems was not found in each of the groups, five productive foothill systems were located in low fertility soils. The improved pastures and the silvopastoral systems (SPSs) of flat high plateaus are a good option to increase the chemical fertility of the soils.

## KEYWORDS

Soil organic matter, available phosphorus, exchangeable bases, agroforestry systems, Oxisoles.

---

## INTRODUCCIÓN

Los Llanos Orientales de Colombia comprenden aproximadamente 26 millones de hectáreas, de las cuales 53% pertenece a la Orinoquia bien drenada, que incluye las terrazas aluviales y la altillanura plana y disectada. De esta área, alrededor de 4.6 millones de hectáreas corresponden a la altillanura plana, con alto potencial agrícola y pecuario. (Rivera y Amézquita, 2013).

Las propiedades químicas del suelo pueden ser consideradas como posibles indicadores de su fertilidad (Lal, 2008). Según Rivera et al. (2013) los suelos de la Altillanura poseen una baja fertilidad química debido principalmente a la alta acidez, con pH menores de 5,5, bajos contenidos de bases intercambiables y baja CIC; son propensos a la alta compactación de los suelos y a la erosión, que definen igualmente su degradación física. Jaramillo (2002) afirma que:

Los suelos de los órdenes Oxisoles y Ultisoles (suelos tropicales típicos) agrupan sólo suelos ácidos, los cuales se caracterizan por presentar una evolución avanzada, alta lixiviación de bases, bajo contenido de minerales meteorizables y predominio de sesquióxidos de Fe y Al en la fracción arcilla. (p. 364)

Dichas características están asociadas a baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) y fertilidad, toxicidad por Al y, en algunos casos, por Mn (Rivera et al., 2013).

La materia orgánica (MOS) y el P se consideran como la propiedad química y el elemento más limitante en suelos ácidos de la Orinoquia (Botero, 1989); el P disponible varió entre 1 y 3 mg/kg, determinado por Bray II en suelos tropicales (Rao et al., 1999).

Friesen et al. (2013) menciona que la toma de nutrientes es diferente entre sistemas de pastura y monocultivos en rotación de zona tropical.

En el sistema arroz de secano en rotación agropastoril (arroz/*B. humidicola* y leguminosa), los niveles de P aprovechable y Ca intercambiable incrementaron ligeramente (Amézquita et al., 2013).

Según Amézquita et al. (2013) los cambios en el contenido de Ca intercambiable en la rotación de arroz con caupí fueron muy similares a aquellos que ocurrieron en monocultivo de arroz, aunque el movimiento del Ca en el subsuelo fue ligeramente menor, quizás debido a la remoción por las raíces profundas de caupí y al reciclado del Ca hacia la superficie a través de los residuos de esta leguminosa.

Según Rivera y Amézquita (2013) los suelos ácidos de la Altillanura tienen importantes características que favorecen sistemas de agricultura sostenible; entre ellas, abundante y adecuada distribución de lluvias, topografía relativamente plana y características físicas factibles a su adecuación mediante un buen manejo de los suelos, principalmente de la labranza.

La adopción de sistemas conservacionistas de manejo del suelo como los sistemas de cultivos en rotación y los sistemas agroforestales (SAFs) se vienen presentando como unas alternativas importantes para contribuir a la fertilidad de los suelos (Montagnini y Nair, 2004; Sánchez et al., 2009).

El objetivo de esta investigación fue realizar la caracterización de la fertilidad de los suelos en diferentes sistemas productivos de la Altillanura, Meta, Colombia; con el fin de distinguir las variables químicas que más aportan en la distinción de sistemas productivos de más alta fertilidad, los cuales podrían aportar a la sustentabilidad ambiental de los agroecosistemas de la Altillanura del Meta, Colombia.

---

## METODOLOGÍA

El estudio se realizó en dos zonas de la Orinoquía del Meta, Colombia: Piedemonte y Altillanura. En la primera se seleccionaron las localidades de Granada y Villavicencio y en la segunda la localidad de Puerto López. Se seleccionaron los cinco sistemas productivos más representativos en cada una de las zonas (Tabla 1).

Así mismo, se realizó una caracterización de los sistemas productivos de acuerdo a algunos factores de manejo de los suelos como fueron uso del suelo, tipo de labranza y entrada de residuos (Tabla 1); seleccionando 20 fincas que incluyeran uno o más de los sistemas escogidos.

Tabla 1.

Zonas	Sistemas productivos	Niveles asociados a los factores de manejo de suelo		
		(Uso del suelo)	(Laboreo)	(Entrada de residuos)
Granada	S1 = Pastura mejorada	Pastizal gestionado sosteniblemente	Reducido	Media
	S2 = Monocultivo de soya en rotación con maiz	Cultivos de largo plazo gestionado sosteniblemente	Reducido	Media
	S3 = Cultivo de maíz en rotación con yuca	Cultivos de largo plazo gestionado sosteniblemente	Reducido	Media
	S4 = Monocultivo de plátano en rotación con yuca	Cultivos de largo plazo gestionado sosteniblemente	Reducido	Media
	S5 = Monocultivo de arroz en rotación con soya y maiz	Cultivos de largo plazo gestionado sosteniblemente	Reducido	Media
Villavicencio	S6 = Pastura mejorada	Pastizal gestionado sosteniblemente	Reducido	Media
	S7 = Sistema agroforestal de cacao y <i>Acacia mangium</i>	Cultivo de perenne gestionado sosteniblemente	Sin laboreo	Alta
	S8 = Monocultivo de piña	Cultivo de largo plazo gestionado continuamente	Total	Baja
	S9 = Sistema agroforestal de café con plátano y leguminosas	Cultivo de perennes gestionado sosteniblemente	Reducido	Alta
	S10 = Monocultivo de arroz	Cultivos de largo plazo gestionado continuamente	Total	Baja
Pto. Lopez	S11 = Bosque secundario	De reserva (< 20 años)	Sin laboreo	Alta
	S12 = Sistema silvo pastoril de <i>Acacia mangium</i> y pastura mejorada	Pastizal gestionado sosteniblemente	Reducido	Alta

S13 = Sistema Cultivo de Reducido Alta  
 agroforestal de perennes  
 caucho y gestionado  
 leguminosas de sosteniblemente  
 cobertura

S14 = Cultivos de largo Total Baja  
 Monocultivo de plazo gestionado  
 piña continuamente

S15 = Cultivo de Reducido Media  
 Monocultivo de perennes  
 cacao gestionado  
 sosteniblemente

Fuente: Esta investigación

En cada uno de los sistemas se realizó un muestreo a 0.25 m de profundidad en 10 puntos al azar y se mezclaron para sacar una muestra compuesta para análisis de tipo químico como se muestra en la [Tabla 2](#).

**Tabla 2.**

Parametro	Unidad	Método	Denominación variable	Autor
Materia orgánica	%	Walkley Black	MOS	IGAC (2006)
pH		Potenciometro 1:1	pH	IGAC (2006)
Al-intercambiable	cmol (+)/kg	KCl 1 N	Al	IGAC (2006)
Calcio	cmol (+)/kg	Acetato de amonio 1N	Ca	IGAC (2006)
Magnesio	cmol (+)/kg	Acetato de amonio 1N	Mg	IGAC (2006)
Potasio	cmol (+)/kg	Acetato de amonio 1N	K	IGAC (2006)
Sodio	cmol (+)/kg	Acetato de amonio 1N	Na	IGAC (2006)
Cobre	mg/kg	DTPA espectrofotometria	Cu	IGAC (2006)
Hierro	mg/kg	DTPA espectrofotometria	Fe	IGAC (2006)
Manganeso	mg/kg	DTPA espectrofotometria	Mn	IGAC (2006)
Zinc	mg/kg	DTPA espectrofotometria	Zn	IGAC (2006)
Boro	mg/kg	Turbidimetria	B	IGAC (2006)
P-disponible	mg/kg	Bray II	P	IGAC (2006)

Fuente: IGAC (2006)

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis multivariado de componentes principales y de agrupamiento jerárquico se hizo con el fin de identificar relaciones entre las variables estudiadas en los sistemas evaluados. En el análisis multivariado, se realizó análisis de factores por componentes principales (CP) (Manly, 1997). Para el análisis de agrupamiento se utilizaron las distancias de Ward, lo cual permitió identificar los grupos con base en el comportamiento de las variables evaluadas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización química de los suelos en los sistemas

La [tabla 3](#) presenta una descripción estadística de las variables químicas seleccionadas en el análisis multivariado relacionadas con los sistemas productivos de la Altillanura y Piedemonte.

**Tabla 3.**

Tipo de variable seleccionada	Unidad	Media	Desviación estándar (δ)	Valor mínimo sistema	Valor máximo y sistema
MOS	%	2.88	0.73	1.60 (S14)	4.20 (S12)
pH		4.43	0.35	3.90 (S7)	5.10 (S9)
Al	cmol (+)/kg	2.15	1.34	0.05 (S2)	5.70 (S7)
Ca	cmol (+)/kg	0.97	0.96	0.05 (S7)	3.02 (S9)
Mg	cmol (+)/kg	0.20	0.22	0.01 (S10)	0.80 (S2)
K	cmol (+)/kg	0.19	0.10	0.07 (S5)	0.38 (S4)
Na	cmol (+)/kg	0.07	0.03	0.04 (S10)	0.18 (S2)
Cu	mg/kg	2.24	1.86	0.65 (S15)	6.60 (S3)
Fe	mg/kg	199.62	84.41	40.0 (S15)	370.62 (S2)
Mn	mg/kg	21.59	41.31	0.90 (S7)	125.0 (S3)
Zn	mg/kg	1.37	0.69	0.65 (S15)	3.40 (S2)
B	mg/kg	0.92	1.12	0.09 (S9)	3.40 (S11)
P- disponible	mg/kg	15.80	17.58	1.70 (S13)	67.50 (S2)

Fuente: Esta investigación.

**Granada:** S2= Monocultivo de soya en rotación con maíz; S3= Cultivo de maíz en rotación con yuca; S4= Monocultivo de plátano en rotación con yuca; S5= Monocultivo de arroz en rotación con maíz y soya; **Villavicencio:** S7= Sistema agroforestal de cacao y *Acacia mangium*; S9= Sistema agroforestal de café con plátano y árboles de leguminosas; S10= Monocultivo de arroz; **Puerto López:** S11= Bosque secundario; S12= Sistema silvopastoril de *Acacia mangium* y pastura mejorada; S13= Sistema agroforestal de caucho y leguminosas de cobertura; S14= Monocultivo de piña; S15= Monocultivo de cacao.

El pH del suelo varió entre 3.90 y 5.10, valores que correspondieron a los SAFs de cacao y *Acacia mangium* de Villavicencio (S7) y al SAF de café asociado de Villavicencio (S9), respectivamente.

Según Rivera y Amézquita (2013), el pH presentó valores entre 4.0 y 4.4, siendo más alto en sabana nativa hasta 20 cm de profundidad.

Se comprobó que los diferentes manejos y usos del suelo presentaron influencia en la MOS, variando desde 1.60 a 4.20% en el sistema de monocultivo de piña de Puerto López (S14) y en el silvopastoril de *Acacia mangium* y pastura mejorada de Puerto López (S12).

El promedio de P disponible en el suelo varió entre 1.70 y 67.50 mg/kg de suelo; el menor valor correspondió al sistema agroforestal de caucho y leguminosas de cobertura (S13) y monocultivo de soya en rotación con maíz (S2), siendo más altos que los reportados por Rao et al. (1999).

Al respecto de los valores mínimos de P encontrados, "los suelos tropicales altamente meteorizados (Oxisoles, Ultisoles) se caracterizan por niveles bajos de P total y disponible y por la alta capacidad de fijación de P" (Friessen et al., 2013, p. 148).

En comparación con los otros nutrientes principales, el P es el menos móvil y disponible para las plantas en las condiciones de la mayoría de los suelos, particularmente en Oxisoles y, por lo tanto, es probable que se vea muy afectado por la labranza (Basamba et al., 2006; 2007). "Los valores de P reflejan el efecto de la intervención agrícola, con contenidos mayores a 5 mg/kg" (Camacho, 2010, p. 279). Sin embargo, estos mismos autores reportaron que Jaimes et al. (2003) encontraron contenidos inferiores a 1 mg/kg en sabana nativa de los Llanos Orientales.

Las leguminosas favorecen la disponibilidad del P en los suelos (Jaramillo, 2002), el crecimiento sustancialmente mayor de las raíces de las pasturas mejoradas (*Brachiaria humidicola* asociada con leguminosas) en las capas inferiores de suelo en condiciones ácidas con bajos niveles de P, refleja la mayor capacidad de los forrajes para movilizar y tomar P del suelo (Rao et al., 1997).

Según Friessen et al. (2013), durante los últimos 20 años se han identificado numerosos germoplasmas de pastos y forrajes, adaptados a bajos niveles de P en Oxisoles de los trópicos, pero las características de las plantas y los mecanismos que contribuyen a una mayor adquisición de P y/o utilización en estos genotipos son poco conocidos.

El Al intercambiable varió de 0.05 a 5.70 cmol (+)/kg de suelo; el menor valor correspondió al cultivo de soya en rotación con maíz de Granada (S2) y al SAF de cacao y *Acacia mangium* de Villavicencio (S7), siendo el máximo más alto que el reportado por Rivera y Amézquita (2013), donde el Al intercambiable varió entre 1.7 y 2.9 cmol (+)/kg de suelo en sistemas de maíz en monocultivo y en rotación con soya entre 0 y 10 cm de profundidad y en sabana nativa entre 0 y 20 cm de profundidad, respectivamente. El valor más alto encontrado estuvo posiblemente asociado a un pH más ácido en los sistemas con mayores aportes de MOS. El Al intercambiable en suelos de carga variable, dependiente del pH como en Oxisoles, se debe neutralizar con altas aplicaciones de cal (Flores et al, 2008).

Los contenidos de Ca variaron de 0.05-5.70 cmol (+)/kg suelo considerados bajos y medios; siendo el más bajo en SAF de cacao y *Acacia mangium* de Puerto López (S12) y el valor máximo

correspondió a SAFs de café asociado de Villavicencio (S9); estos valores estuvieron asociados con el pH ácido del suelo en estos dos sistemas; el Mg varió de 0.01 a 0.80 cmol (+)/kg, considerados bajos en los sistemas monocultivo de arroz (S10) de Villavicencio y monocultivo de soya en rotación (S2) de Granada; K vario entre 0.07 a 0.38 cmol (+)/kg de suelo, contenidos que son considerados bajos y medios en el monocultivo de arroz en rotación con soya y maíz de Granada (S5) y en monocultivo de plátano en rotación con yuca de Granada (S4), respectivamente.

Al respecto, Kirkby (1979) menciona que los Oxisoles y Ultisoles predominantes en los Llanos Orientales de Colombia se caracterizan por un alto contenido de arcillas caolinitas tipo 1:1, que requieren menos nivel de saturación de bases para una adecuada disponibilidad de Ca y Mg para las plantas.

Kamprath (1971) menciona que la disponibilidad de Ca y Mg en Oxisoles y Ultisoles es afectada por prácticas de manejo como labranza, rotación de cultivos y aplicación de enmiendas o fertilizantes, al igual que por los niveles de la forma intercambiable, la capacidad de intercambio catiónico efectiva, el Al intercambiable, la textura y la mineralogía de las arcillas.

La aplicación de Ca como enmienda, ayuda a elevar el nivel de este y del Mg en el suelo (Fassbender, 1972), favoreciendo el movimiento de ambos hacia otras partes del suelo y aumenta el pH (Morelli et al., 1971), sin afectar mucho al K.

El Na no es una limitante en estos suelos (Jaramillo, 2002); en cuanto a los elementos menores, Fe y Mn fueron elevados en cultivo de soya en rotación con maíz (S2); y en cultivo de maíz en rotación con yuca de Granada (S3); B fue de bajo a alto en sistema agroforestal de caucho y leguminosas de cobertura de Puerto López (S13) y en monocultivo de soya en rotación de Granada (S2). La fijación biológica del N ayuda a aumentar los contenidos de B en los suelos (Moreira y Siqueira, 2006).

### **Matriz de correlaciones**

El análisis de correlaciones entre las variables asociadas a la fertilidad química de los suelos de los sistemas productivos de la Altillanura y de Piedemonte se observa en [latabla 4](#).

Tabla 4.

	MOS	pH	Al	Ca	Mg	K	Na	Cu	Fe	Mn
MO	1									
pH	0.47	1								
Al	-0.63	-0.82	1							
Ca	0.72	0.71	-0.82	1						
Mg	0.76	0.61	-0.75	0.88	1					
K	0.65	0.43	-0.50	0.53	0.45	1				
Na	0.79	0.28	-0.44	0.50	0.69	0.35	1			
Cu	0.56	0.31	-0.38	-0.25	0.14	0.54	0.12	1		
Fe	0.51	0.08	0.03	0.10	0.27	0.19	0.67	0.19	1	
Mn	0.87	0.45	-0.58	0.61	0.39	0.78	0.65	0.66	0.50	1
Zn	0.64	0.42	-0.49	0.62	0.77	0.32	0.57	0.02	0.46	0.52
B	-0.25	-0.75	0.73	-0.55	-0.41	-0.35	-0.06	-0.24	0.37	-0.27
P	0.80	0.19	-0.38	0.23	0.28	0.18	0.10	0.37	-0.22	0.39

Fuente: Esta investigación.

Los resultados obtenidos confirman que la materia orgánica del suelo (MOS), correlacionó con todas las características químicas del suelo, menos con B (Tabla 4), como reportado por West et al (2010). El P estuvo altamente correlacionado con la MOS (Tabla 4).

La correlación negativa y positiva encontrada entre el pH con el Al intercambiable y con Ca, Mg, K y Na (Tabla 4), estaría indicando que a un menor pH es mayor el Al y menor el contenido de bases (Fassbender, 1972). El Ca correlacionó con el K, el Mg con el Zn y el K con el Mn (Tabla 4), existiendo sinergia entre nutrientes y su influencia en el mejoramiento de la fertilidad de los suelos (Moreira y Siqueira, 2006). El Na no es una limitante en estos suelos, como si lo es el Al (Jaramillo, 2002).

#### **Análisis de componentes principales (ACP)**

Stenberg (1998) al evaluar aspectos físicos, químicos y biológicos de los suelos destacó la importancia de las técnicas de análisis multivariado (componentes principales), las cuales facilitaron la clasificación de la calidad de los suelos en tres categorías (buena, normal y baja).

En el análisis de componentes principales se seleccionaron los primeros tres componentes, que explicaron el 79.63% de la variabilidad de los datos.

**Tabla 5.**

Variables	CP1	CP2	CP3
MOS	-0.91	-0.28	0.17
pH	-0.74	0.40	-0.20
Al	0.85	-0.40	0.13
Ca	-0.87	0.17	-0.26
Mg	-0.87	-0.04	-0.35
K	-0.69	0.02	0.35
Na	-0.70	-0.53	-0.13
Cu	-0.50	0.08	0.76
Fe	-0.36	-0.85	0.05
Mn	-0.85	-0.22	0.38
Zn	-0.70	-0.30	-0.43
B	0.54	-0.72	0.14
P	-0.36	0.38	0.42

Fuente: Esta investigación.

La conformación del CP1 estuvo relacionado principalmente con la MOS, pH, Al, todas las bases y micronutrientes del suelo, menos el Fe; incluido el Boro. El P no guardo relación. El primer componente explicó el 50.54% de la variabilidad total (Tabla 5).

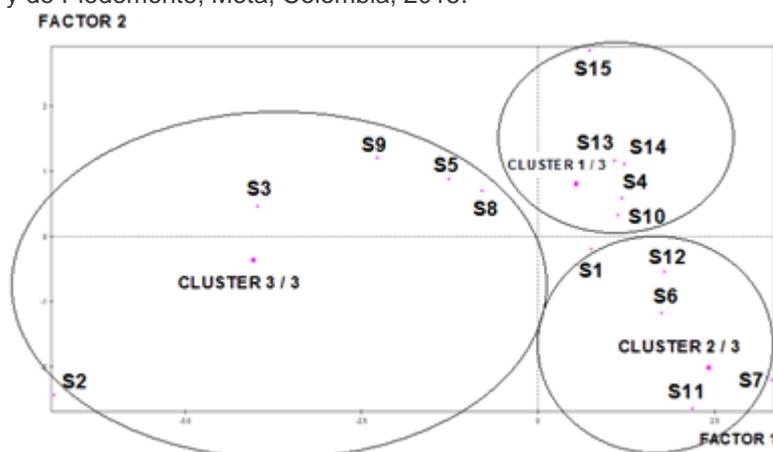
El CP2 explicó el 17.25% de la variabilidad total y se relacionó principalmente con la acidez del suelo, pH, Al, Na, Fe y B en los suelos (Tabla 5).

Las variables de mayor peso en la conformación del CP3 fueron Cu, Zn y P en los sistemas evaluados, explicando el 11.84% de la variabilidad total de las propiedades químicas (Tabla 5).

**Análisis de Cluster**

El análisis de Cluster estuvo conformado de la siguiente manera (Figura 1).

**Figura 1.** Análisis de clúster asociados a la fertilidad química de los suelos en sistemas productivos de la Altillanura y de Piedemonte, Meta, Colombia, 2015.



Fuente: Esta investigación.

Cluster 1: Sistemas productivos con suelos medianamente fértiles. En este cluster se agruparon los sistemas de monocultivo de plátano en rotación con yuca de Granada (S4), Monocultivo de arroz de Villavicencio (S10), sistema agroforestal de caucho y leguminosas de cobertura (S13), monocultivo de piña (S14) y monocultivo de cacao de Puerto López (S15); parece ser que la alta heterogeneidad de los suelos y la alta variabilidad de las propiedades químicas no determinó un patrón específico en cuanto al tipo de uso del suelo; hubo predominio de suelos con bajo pH y altos contenidos de Al, altos contenidos de Fe y bajos contenidos de B en los suelos (Figura 1).

Eso muestra que los atributos mencionados poco contribuyeron para separar los sistemas productivos analizados dependientes de tipos de manejo y uso del suelo con características similares.

A pesar de que últimamente los sistemas de monocultivos en las tres zonas están incluyendo algún tipo de manejo sostenible de suelo como es la práctica de rotación de cultivos y la implementación de SAFs, la baja fertilidad química de estos suelos supera a las innovaciones tecnológicas de los sistemas. Según Vera (2004), White (1984) y Bernoux et al. (2006), la rotación de cultivos incrementa los contenidos de la MOS con resultados visibles a mediano y largo plazo, siendo que con los SAFs los resultados pueden darse en el corto plazo (Kirby y Potvin, 2007; Dossa et al., 2008; Somarriba et al., 2013; Jadan et al., 2015).

Cluster 2: Sistemas productivos con suelos de alta fertilidad. Agrupa los sistemas de pastura mejorada de Granada (S1); pastura mejorada de Villavicencio (S6); SAF de cacao y **Acacia mangium** de Villavicencio (S7); bosque secundario (S11) y sistema silvopastoril de **Acacia mangium** y pastura mejorada (S12) de Puerto López; la conformación de este clúster estuvo más asociado a la baja acidez de los suelos, menores contenidos de Al intercambiable, altos contenidos de bases y micronutrientes, pero principalmente a altos contenidos de MOS (Figura 1).

Doran y Parkin (1994) y Reeves (1997), han incluido a la materia orgánica del suelo (MOS) como la propiedad química más importante a seleccionar entre un grupo de datos mínimos y necesarios para definir la calidad del suelo en sistemas productivos.

En las pasturas mejoradas y los SAFs la materia orgánica del suelo (MOS) se acumula en los horizontes superiores (Bessam y Mrabet, 2003; Guimarães et al., 2004; Basamba et al, 2006), pudiendo explicar los resultados obtenidos, lo cual puede estar relacionado con los tipos de labranza reducida y/o cero y la alta entrada de residuos.

La recuperación de pasturas degradadas con la adopción de prácticas conservacionistas como las pasturas mejoradas y los SAFs, junto con el uso de correctivos y fertilizantes, evita la degradación del suelo y favorece incrementos en los contenidos de MOS y P principalmente (Nair, 1993; Carvalho et al., 2007; Giraldo et al., 2008; Latriglia y Vera, 2014).

Cluster 3: Sistemas productivos con suelos de baja fertilidad. Agrupa los sistemas de monocultivo de soya en rotación con maíz (S2), cultivo de maíz en rotación con yuca (S3) y monocultivo de arroz en

rotación con maíz y soya (S5), todos éstos de Granada; monocultivo de piña (S8) y sistema agroforestal de café asociado de Villavicencio (S9); los suelos de estas dos zonas estuvieron asociados a alta acidez, que definió altos contenidos de Fe y Zn, y bajos contenidos de P-disponible (Figura 1).

Según Friesen et al. (2013), estudiando la adquisición y reciclaje de fósforo en sistemas de cultivos y pasturas en suelos tropicales de baja fertilidad,

Las diferencias en las tasas de liberación puede ser de menor importancia en las pasturas donde las raíces activas están siempre presentes para recuperar el P liberado de la hojarasca en descomposición. En los sistemas que involucran cultivos, sin embargo, el sistema radicular del cultivo no puede ser suficientemente desarrollado para recuperar el P liberado de los residuos del cultivo anterior. (p. 156)

De esta manera se pueden explicar las diferencias en el reciclaje de nutrientes de los sistemas productivos incluidos en los cluster 2 y 3.

Para el arroz, el patrón de liberación de P de los residuos aplicados a la superficie sugiere que <60% estará disponible para el siguiente cultivo de caupí (o componentes alternativos) en un sistema de rotación. Para el monocultivo de arroz, la liberación completa dentro de los 4 meses implica una interacción sin restricciones con el suelo de alrededor de 6 meses antes que el próximo cultivo presente un sistema radicular suficientemente desarrollado para adquirirlo. (Friesen et al., 2013, p. 156)

Por otra parte, en sistemas de monocultivo donde se realiza labranza intensiva es un factor que contribuye a la degradación de la fertilidad química de los suelos en el corto tiempo (Lal, 2008); debido principalmente a la liberación del carbono del suelo que sucede por una oxidación intensa de la MOS y las pérdidas de nutrientes por erosión (Chen et al., 2009; West et al., 2010); presentándose una disminución de los contenidos de P en los suelos de los sistemas productivos del clúster 3 y de micronutrientes en sistemas productivos del clúster 1.

---

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de la matriz de correlaciones y el análisis de los CP, el mejor indicador de la fertilidad química del suelo en sistemas productivos de la Altillanura fue la MOS; distinguiéndose los sistemas de pasturas mejoradas y sistemas silvopastoriles como posibles alternativas sostenibles de producción agropecuaria para esta zona.

Los niveles de pH de los suelos predominantemente ácidos en las zonas de Piedemonte determinaron suelos con niveles de mediana a muy baja fertilidad química que pueden limitar la

absorción de nutrientes por los cultivos, tanto de macro y micro nutrientes, principalmente en sistemas de monocultivo.

---

## AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Investigaciones y la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad de los Llanos por la financiación de este proyecto de investigación.

---

## REFERENCIAS

- Amézquita, E., Rao, I. M., Rondón, M. A., Ayarza, M. A., Hoyos, P., Molina., D. L y Corrales, I. I. (2013). Mejoramiento de Oxisoles de Baja Fertilidad para Sistemas Agropastoriles de Alta Productividad en Sabanas Tropicales de Colombia. En: **Sistemas agropastoriles: Un enfoque integrado para el manejo sostenible de Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (Documento de Trabajo CIAT No. 223). ISBN 978-958-694-117-4.
- Basamba, T. A., Amézquita E., Singh, B. R., Rao, I. M. (2006). Effects of tillage systems on soil physical properties, root distribution and maize yield on a Colombian acid-savanna Oxisol. **Acta Agriculturae Scandinavica B**. 56(4), 255–262.
- Basamba, T., Barrios, E., Singh, B., Rao, I. (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 Agroecosystems**. 77(2), 127–141.
- Bernoux, M., Cerri, C. C., Cerri, C. E., Siqueira, M., Metay, A., Perrin, A. S., Scopel, E., Razafimbelo, T., Blavet, D., Piccolo, M. C., Pavei, M. y Milne, E. (2006). Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil. **Agron. Sustain. Dev**, 26, 1-8.
- Bessam, F., Mrabet, R. (2003). Long-term changes in soil organic matter under conventional tillage and no-tillage systems in semiarid Morocco. **Soil Use and Management** 19(2):139–143.
- Botero R. (1989). **Manejo de explotaciones ganaderas en las sabanas bien drenadas de los Llanos Orientales de Colombia**. Serie Boletines Técnicos No. 2. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa de Pastos Tropicales.
- Camacho, J. H., Luengas, C., Leiva, F. (2010). Multivariate analysis of chemical properties in Oxisols with different levels of intervention agricultural. **Acta agronómica**. 59 (3), 273-284.
- Carvalho, J. L., Cerri, C. E., Cerri, C. C., Feigl, B. J., Piccolo, M. C., Godinho, V. P.; Herpin, U. (2007). Changes of chemical properties in an Oxisol after clearing of native vegetation for agricultural use in Vilhena, Rondonia State, Brazil. **Soil Tillage Res**. 96 (1-2), 95 - 102.

- Chen, H.Q., Hou, R.X., Gong, Y.S., Li, H.W., Fan, M.S., Kuzyakov, Y. (2009). Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. **Soil Till Res**, 106, 85-94.
- Doran, J. W. y Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality En: Doran, J. W et al (ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. SSSA Special Publ. 35. SSSA and ASA. Madison, WI. p. 3-21.
- Dossa, E., Fernandes, E., Reid, W., Ezui, K. (2008). Above- and below-ground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting an open-grown and a shaded coffee plantation. **Agrofor. Syst**, 72, 103–115.
- Fassbender, H.W. (1972). Equilibrios catiónicos y disponibilidad de potasio en suelos de América Central. **Turrialba**. 22(4), 388-397.
- Flores, J. P., Cassol, L. C., Anghinoni, I., Carvalho, P. C. (2008). Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, 32 (6), 2385 - 2396.
- Friesen, D. K., Rao, I. M., Thomas, R. J., Oberson, A. y Sanz, J. I. (2013). Adquisición y reciclaje de fósforo en sistemas de cultivos y pasturas en suelos tropicales de baja fertilidad. En: **Sistemas agropastoriles: Un enfoque integrado para el manejo sostenible de Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (Documento de Trabajo CIAT No. 223). ISBN 978-958-694-117-4.
- Giraldo, A., Zapata, M. y Montoya, E. (2008). Carbon capture and flow in a silvopastoral system of the Colombian Andean zone. **Asociación Latinoamericana de Producción Animal**, Maracaibo, 16 (4), 241-245.
- Guimarães, E. P., Sanz, J. I., Rao, I. M., Amézquita, E. (2004). Research on agropastoral systems: What we have learned and what we should do. En: **Agropastoral systems for the tropical savannas of Latin America**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). p 326–336.
- IGAC. (2006). **Métodos analíticos de laboratorio de suelos**. Bogotá: IGAC.
- Jadán, O., Cifuentes, M., Torres, B., Selesi, D., Veintimilla, D., Günter, S. (2015). Influence of tree cover on diversity, carbon sequestration and productivity of cocoa systems in the Ecuadorian Amazon. **Bois et forêts des tropiques**, 325 (3), 35-47.
- Jaimes, W.; Navas, G., Salamanca, C.; Conde, A. (2003). **Estudio detallado de suelos de la estación experimental de Corpoica Sabanas en la Altillanura colombiana**. Villavicencio: Corpoica.
- Jaramillo, D. (2002). **Introducción a la Ciencia del Suelo**. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá: Facultad de Ciencias.
- Kamprath, E. J. (1971). Potential detrimental effects from liming highly weathered soils to neutrality. **Soil Science Society of Florida**, 31, 201–203.
- Kirkby, E. A. (1979). Maximizing calcium uptake by plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 10(1–2), 89–113.
- Kirby, K. R., Potvin, C. (2007). Variation in carbon storage among tree species: implications for the management of a small-scale carbon sink project. **For Ecol Manag**, 246, 208–221.
- Lal, R. (2008). Carbon sequestration. **Phil. Trans. R. Soc. B**, 63, 815-830.
- Latriglia, C. L., y Vera, O. C. (2014). Captura de Carbono en sistemas pastoriles establecidos en Colombia. **Rev Sist Prod Agroecol**, 6 (1), 89-113.

- Manly, B.F.J. (1997). **Multivariate statistical methods**. A primer. Second Ed. Chapman & Hall, London. 216p.
- Morelli, M., Igue, K., Fuentes, R. (1971). Efecto del encalado en el complejo de cambia y movimiento de Ca y Mg. **Turrialba**. 21(3), 317-322.
- Moreira, F. M. y Siqueira, J. O. (2006). **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras.
- Montagnini, F. y Nair, P. K. (2004). Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry System**, 61-62, 1-3, 281-295.
- Nair, P. K. (1993). **An introduction to agroforestry**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Nair, P. K., Nair, V., Kumar, B. M., Showalter, J. M. (2010). Carbon sequestration in agroforestry systems. **Adv Agron**, 108, 237–307
- Rao, I. M., Borrero, V., Ricaurte, J., García, R., Ayarza, M. A. (1997). Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils. III. Differences in phosphorus acquisition and utilization as influenced by varying phosphorus supply and soil type. **Journal of Plant Nutrition**. 20(1), 155–180.
- Rao, I. M., Friesen, D. K., Osaki, M. (1999). Plant adaptation to phosphorus–Limited tropical soils. En: **Handbook of plant and crop stress**. Estados Unidos: Marcel Dekker, Inc. p 61–96.
- Reeves, D. W. (1997). The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil Till. Res**, 43, 131–167.
- Rivera, M. y Amézquita, E. (2013). Caracterización Biofísica de Sistemas en Monocultivo y en Rotación en Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia. En: **Sistemas agropastoriles: Un enfoque integrado para el manejo sostenible de Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (Documento de Trabajo CIAT No. 223). ISBN 978-958-694-117-4
- Rivera, M., Amézquita, E., Bernal, J., y Rao, I.M. (2013). Las Sabanas de los Llanos Orientales de Colombia: Caracterización Biofísica e Importancia para la Producción Agropecuaria. En: **Sistemas agropastoriles: Un enfoque integrado para el manejo sostenible de Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (Documento de Trabajo CIAT No. 223). ISBN 978-958-694-117-4
- Sánchez, C. S., Crespo, L. G., Hernández, C. M. y García, O. Y. (2008). Acumulación y descomposición de la hojarasca en un pastizal de **Panicum maximum** en un sistema silvopastoril asociado con **Leucaena leucocephala**. **Zootecnia Trop** 26(3): 269-273.
- Somarriba, E., Cerda, R., Orozco, L., Cifuentes, M., Dávila, H., Espin, T. **et al.**, (2013). Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 173, 46-57.
- Stemberg, B. (1998). Soil attributes as predictors of crop production under standardized conditions. **Biology and Fertility of Soils**. 27, 104-112.
- West, P. C, Gibbs, H. K., Monfreda, C., Wagner, J., Barford, C. C., Carpenter, S. R., Foley, J. A. (2010). Trading carbon for food: Global comparison of carbon stocks vs. crop yields on agricultural land. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 107(46):19645–19648.

- White, P.J. (1984). Effects of crop residues incorporation on soil properties and growth of subsequent crops. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husband*, 24, 219–235.
- Vera, R.R. (2004). Research on agropastoral systems: Background and strategies. En: Guimarães, E.P., Sanz, J.I., Rao, I.M., Amézquita, M.C., Amézquita, E, Thomas, R.J, eds. Agropastoral systems for the tropical savannas of Latin América. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Brasília, DF, Brasil, 3-10.

---

1. M.Sc. Fitomejoramiento, Profesor Tiempo Completo, Grupo de Investigación Innovación en Sistemas Agrícolas y Agroforestales ISAF, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad de los Llanos: Villavicencio, Colombia. [hdelgado@unillanos.edu.co](mailto:hdelgado@unillanos.edu.co).

2. Candidato M.Sc. Desarrollo Tropical Sostenible, Profesor Tiempo Completo Ocasional, Grupo de Investigación Innovación en sistemas agrícolas y agroforestales ISAF. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad de los Llanos: Villavicencio, Colombia. [jorge.rangel@unillanos.edu.co](mailto:jorge.rangel@unillanos.edu.co).

3. Ph.D. Agronomía Ciencia del Suelo, Profesora Tiempo Completo, Grupo de Investigación Innovación en sistemas agrícolas y agroforestales ISAF, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad de los Llanos: Villavicencio, Colombia. [asilvap@unillanos.edu.co](mailto:asilvap@unillanos.edu.co)

---

**Para citar este artículo:** Delgado, H.; Rangel, J. A.; Silva, A. (2016). Caracterización de la fertilidad química de los suelos en sistemas productivos de la altillanura plana, Meta, Colombia. *Revista Luna Azul*, 46, 54-69. Recuperado de <http://200.21.104.25/lunazul/index.php/component/content/article?id=272>. DOI: **10.17151/luaz.2018.46.5**

---

Este obra está bajo una [Licencia de Creative Commons Reconocimiento CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

