



Propiedades fisicoquímicas de suelos ganaderos de tres municipios de la subregión norte de Antioquia, Colombia

Physicochemical properties of livestock soils of three municipalities in the northern subregion of Antioquia, Colombia

Jorge Mario Herrera*, Oscar Andrés Guarín-Tabimba**, Licet Paola Molina-Guzmán***^{ID},
Lina Andrea Gutiérrez-Builes****^{ID}, Leonardo Alberto Ríos-Osorio*****^{ID}

RESUMEN

Introducción: La ganadería intensiva, reconocida por sus impactos negativos en los suelos, demanda una investigación más detallada de las propiedades fisicoquímicas en los municipios del norte de Antioquia. No existe información detallada en este ámbito, resaltando la importancia de realizar investigaciones locales y específicas para comprender mejor la magnitud y la naturaleza de los efectos de este sistema de producción en la región. El objetivo del estudio fue evaluar indicadores fisicoquímicos en suelos ganaderos de 24 fincas ubicadas en Entreríos, Belmira y San Pedro de los Milagros, pertenecientes a la subregión norte de Antioquia. **Materiales y Métodos:** Se realizó un estudio experimental absoluto, por observación comparativo. En este contexto, se evaluaron diversas propiedades del suelo como la textura, color, estructura, pH, y contenido de nitrato, fósforo, ion férrico, magnesio, manganeso, aluminio, nitrógeno amoniacal, nitrito, potasio, sulfato, calcio y cloruro. **Resultados:** Se obtuvieron concentraciones significativas de Fósforo (28,9 mg/Kg), Sulfato (1065,6 mg/Kg), Cloruro (321,9 mg/Kg), Nitrato (13,1 mg/Kg), Nitritos (1,3 mg/kg) y Nitrógeno amoniacal (5,2 mg/Kg), siendo estos los parámetros más relevantes. Además, se identificó una predominancia en la clase textural arcillosa para el 54,2 % de los hatos ganaderos evaluados y un suelo de color predominantemente negro, con niveles bajos de materia orgánica (1,1 mg/Kg) y un pH moderadamente ácido (5,0-6,0). **Conclusiones:** La diversidad de propiedades en los suelos de la subregión norte de Antioquia, con pH moderadamente ácido compartido, destaca la necesidad de adaptar prácticas agrícolas para garantizar la sostenibilidad. Estos estudios proveen una base esencial para decisiones inmediatas y futuras, identificando limitantes edáficas y guiando estrategias de manejo más efectivas.

Palabras clave: Ganadería intensiva; Indicadores; Macroelementos; pH; Suelo.

* Microbiólogo Industrial y Ambiental. Grupo de Investigación Salud y Sostenibilidad; Escuela de Microbiología; Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

** Estudiante Microbiología Industrial y Ambiental. Grupo de Investigación Salud y Sostenibilidad; Escuela de Microbiología; Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

*** Estudiante Doctorado en Biología. Grupo de Investigación Salud y Sostenibilidad; Escuela de Microbiología; Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

**** PhD Ciencias Básicas Biomédicas. Grupo Biología de Sistemas; Facultad de Medicina; Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.

***** PhD Sostenibilidad. Grupo de Investigación Salud y Sostenibilidad; Escuela de Microbiología; Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Email de correspondencia: leonardo.rios@udea.edu.co

Recepción: 14/03/2023. Aceptación: 6/05/2023

Cómo citar este artículo: Herrera JM., Guarín-Tabimba OA., Molina-Guzmán L., Gutiérrez-Builes LA, Ríos-Osorio L. Propiedades fisicoquímicas de suelos ganaderos de tres municipios de la subregión norte de Antioquia, Colombia. Hechos Microbiol. 2023;14(1). DOI: 10.17533/udea.hm.v14n1a05

ABSTRACT

Introduction: Intensive livestock farming, known for its negative impacts on soils, calls for a more detailed investigation into the physicochemical properties in the municipalities of northern Antioquia. There is limited detailed information in this area, highlighting the importance of conducting local and specific research to better understand the magnitude and nature of the effects of this production system in the region. The aim of the study was to assess physicochemical indicators in livestock soils from 24 farms located in Entreríos, Belmira, and San Pedro de los Milagros, belonging to the northern subregion of Antioquia. **Materials and Methods:** An absolute experimental study was conducted through comparative observation. In this context, various soil properties were evaluated such as texture, color, structure, pH, and content of nitrate, phosphorus, ferric ion, magnesium, manganese, aluminum, ammoniacal nitrogen, nitrite, potassium, sulfate, calcium, and chloride. **Results:** Significant concentrations of Phosphorus (28.9 mg/Kg), Sulfate (1065.6 mg/Kg), Chloride (321.9 mg/Kg), Nitrate (13.1 mg/Kg), Nitrites (1.3 mg/kg), and Ammoniacal Nitrogen (5.2 mg/Kg) were detected; these being the most relevant parameters. In addition, a predominance in the clayey textural class was identified for 54.2% of the livestock herds evaluated and a predominantly black soil, with low levels of organic matter (1.1 mg/Kg) and a moderately acidic pH (5.0-6.0). **Conclusions:** The diversity of properties in the soils of the northern subregion of Antioquia, with shared moderately acidic pH, highlights the need to adapt agricultural practices to guarantee sustainability. These studies provide an essential basis for immediate and future decisions, identifying edaphic limitations and guiding more effective management strategies.

Keywords: Indicators; Intensive farming; Macro-nutrients; pH; Soil.

Introducción

El suelo es considerado como una interface donde se presenta la interacción entre cada una de las partes que conforman la tierra (Atmósfera, litosfera, hidrosfera y la biosfera) (1). Debido a esto, se ha convertido en un

recurso natural no renovable y sensible a las dinámicas de su entorno que sostiene y permite el desarrollo de la vida como beneficio de la interacción entre sus propiedades físicas, químicas y biológicas particulares para cada zona de vida donde se encuentre localizado (2). La degradación del suelo es un proceso derivado por la acción de fenómenos naturales y actividades antropogénicas, que tienden a favorecer los procesos de erosión, compactación y contaminación de este recurso, lo que reduce su capacidad para sostener ecosistemas naturales y artificiales (3).

Bennett *et al* (4), sostienen que, en terrenos pecuarios, donde el número de animales por hectárea exceda la cantidad de animales que el suelo tolera, el pisoteo promueve su compactación, la pérdida de la cubierta vegetal y su erosión, con la posterior disminución de la capacidad de retención de agua. Por otro lado, un suelo se vuelve infértil cuando se reduce o agota la cantidad de nutrientes necesaria para la óptima producción agrícola, y esta situación conlleva a una pérdida irremediable del suelo y con ello afecta también la productividad (5).

En general, se estima que alrededor del 30 % de la superficie terrestre del planeta está destinada para la producción ganadera y cerca del 73 % de cobertura vegetal destinadas a esta actividad se encuentran en zonas áridas, que exhiben cierto nivel de degradación debido al pastoreo, la compactación y la erosión resultantes de la actividad ganadera (6). En Colombia, es evidente el valor que tiene la producción ganadera para la economía rural y la oferta alimentaria del país, la cual contribuye con el 3,6 % del producto interno bruto (PIB) nacional, que representa un 7 % de los índices de empleo nacional y el 28 % en el sector rural (7). La subregión norte del departamento de Antioquia es una zona estratégica para el centro y sur del país, localizada en la cordillera central, entre el área norte del Valle de Aburrá y el nudo de Paramillo, límite de la cordillera occidental. La producción de leche es la actividad de mayor importancia en la región y la más difundida al interior de su territorio, localizada principalmente en la zona del altiplano o meseta de los Osos, razón por la cual tiende a identificarse la región con esta zona y a su base económica con dicha actividad (7).

La calidad del suelo no es un concepto fácil de definir ya que depende del uso que se le vaya a dar a

dicho suelo (8) y está determinada simultáneamente por el sostenimiento en los niveles de producción de sus cultivos, la calidad del agua, y la capacidad de proveer un medio óptimo para el desarrollo de plantas, animales y el hombre, dentro de unos límites determinados por un ecosistema (9). Por lo tanto, un suelo con capacidad para funcionar, se convierte en un modelo de producción económicamente viable, ambientalmente seguro y socialmente aceptable. Es en este contexto donde la calidad del suelo se transforma en un indicador del manejo de este (10).

Los indicadores de calidad son considerados como una fuente de conocimiento importante, porque permiten comprender el deterioro de los niveles de funcionalidad de un ecosistema (11) y proveen información preventiva temprana indispensable para ganaderos y agricultores (12). Por tal razón, resulta imprescindible la selección y uso de indicadores de calidad que proporcionen información sobre los cambios generados en las propiedades edáficas del suelo como consecuencia de su uso y manejo (13).

Por lo anterior, las investigaciones sobre calidad de suelos indican que la temática es compleja y requiere mayor profundidad particularmente en lo que a la implementación de estimaciones cuantitativas respecta (14), ya que en la actualidad están focalizadas a la caracterización de indicadores que permitan evaluar la calidad del suelo en un momento determinado al interior de una zona de vida específica (15), debido a la necesidad de poder integrar sus propiedades biológicas y fisicoquímicas con la escala en la cual es aplicada (finca, cuenca, región, etc.) (16). En este sentido, no se tienen datos específicos acerca de indicadores de calidad para suelos destinados a ganadería especializada sobre la subregión norte del departamento de Antioquia, específicamente en los municipios de San Pedro de los Milagros, Entrerriós y Belmira.

Materiales y métodos

TIPO DE ESTUDIO

Se realizó un estudio experimental absoluto, por observación comparativo, cuya unidad de análisis fue el suelo destinado a la producción ganadera de la subregión norte del departamento de Antioquia.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

La subregión norte de Antioquia, ubicada en una bifurcación de la cordillera central, se compone de dos áreas distintas: el altiplano norte, abarcando municipios como Belmira, Entrerriós, Yarumal, Santa Rosa de Osos, San Pedro de los Milagros, Angostura, Don Matías y parte de San José de la Montaña; y las áreas de vertiente que se orientan hacia los ríos Cauca y Nechí, englobando municipios como Briceño, Campamento, Carolina del Príncipe, Gómez Plata, Guadalupe, Ituango, San Andrés de Cuerquia, San José de la Montaña, Toledo y Valdivia.

San Pedro de los Milagros se caracteriza por un clima frío, con temperaturas promedio que oscilan entre 14 y 16 °C, propio de un piso térmico frío. La atmósfera se presenta seca, dificultando el calentamiento por los rayos del sol. Geográficamente, el municipio exhibe un relieve poco variado, destacando altiplanos en su mayor extensión, junto con colinas y algunas cordilleras en sus límites, compartiendo fronteras con los municipios vecinos de Bello, San Jerónimo y Belmira. La clasificación del suelo en el territorio municipal abarca categorías como suelo urbano, suelo rural, suelo de expansión urbana y suelo suburbano, con áreas designadas para protección según las clases de suelo establecidas por la Ley 388 de 1997. Esta variedad de clasificaciones permite una gestión integral del territorio, considerando tanto aspectos urbanos como rurales (17).

Entrerriós se ubica a 61 km al norte de Medellín, a una altitud de 2300 msnm, con una temperatura promedio de 16 °C y una precipitación anual de 2000 mm. Su relieve pertenece a la cordillera Central y está atravesado por el río Grande, así como las quebradas Cañaveral y Torura. El municipio forma parte de la territorial Tahamíes de Corantioquia y se encuentra en el eje de la Cordillera Central. La topografía de Entrerriós está caracterizada por sistemas colinados bajos, destacándose el Peñol de Entrerriós, un monolito de 75 metros de altura. Hacia el costado occidental, se en-

cuentran las alturas más significativas, como el Alto de la Horqueta y el Alto de Sabanas en la zona del Páramo de Belmira. La región forma parte de la cuenca del Río Grande, que alimenta el embalse Riogrande II para uso hidroeléctrico. El embalse, situado en el costado sur del municipio, limita con los municipios de San Pedro y Don Matías. Este ecosistema artificial abastece de energía, recreación y agua potable a parte de la población de Medellín y el norte del Valle de Aburrá (18).

Belmira, a 60 km al norte de Medellín y a 2550 msnm, presenta un clima con temperatura promedio de 14 °C y precipitación anual de 2080 mm. Situado en la cordillera Central, es cruzado por el río Chico y la quebrada Quebradona. Forma parte de la territorial Tahamíes de Corantioquia y de la subregión norte de Antioquia. Su topografía se destaca por el Páramo de Belmira, una fuente hidrográfica vital, con altitudes entre 3,350 y 2,400 msnm, alimentando acueductos y originando los ríos Grande y Chico, suministrando agua a la hidroeléctrica Riogrande II y Medellín. El municipio cuenta con varios altos topográficos, como el Alto de Belmira y Alto el Morrón (18). Los suelos, de la Asociación Guadua, son mayormente orgánicos y arcillosos, con fertilidad deficiente, requiriendo aportes de fertilizantes. Se identifican cinco clases agrológicas, abarcando desde ganadería extensiva hasta cultivos y áreas boscosas, reflejando la diversidad de usos en la región (18).

SELECCIÓN DE LAS FINCAS

El objeto de estudio fue la población perteneciente a la zona norte del departamento de Antioquia, específicamente un número definido de fincas, tratadas como unidades de observación. Para el cálculo del tamaño de la muestra, se tuvo en cuenta un universo de 13.550 bovinos datos obtenidos como reporte de parte de agremiaciones ganaderas y UMATAS de las zonas (Epi-Info, CDC, Atlanta, USA). Para llevar a cabo la selección de manera representativa, se implementó un muestreo probabilístico estratificado con asignación proporcional.

En el proceso de estratificación, el tamaño de muestra estimado se distribuyó de manera proporcional entre los 24 hatos de los municipios incluidos en este estudio. El criterio de selección establecido determinó que las granjas debían tener 176 o más animales en inventario. De esta manera, se identificaron las fincas que cumplían con este criterio en los municipios de

Belmira, San Pedro de los Milagros y Entreríos. Estos municipios albergaban la mayor cantidad de fincas que cumplían con el criterio de selección, y se utilizó una distribución proporcional para seleccionar ocho fincas en cada municipio, dando como resultado un total de 24 fincas en los tres municipios (Fig. 1).

Este enfoque de muestreo estratificado garantizó la representatividad de las fincas seleccionadas y, dentro de cada estrato, se aplicó un muestreo aleatorio simple para asegurar la imparcialidad en la selección final de las unidades de observación. En cada una de estas fincas, se llevó a cabo la recolección de muestras de suelos, según se describe a continuación.

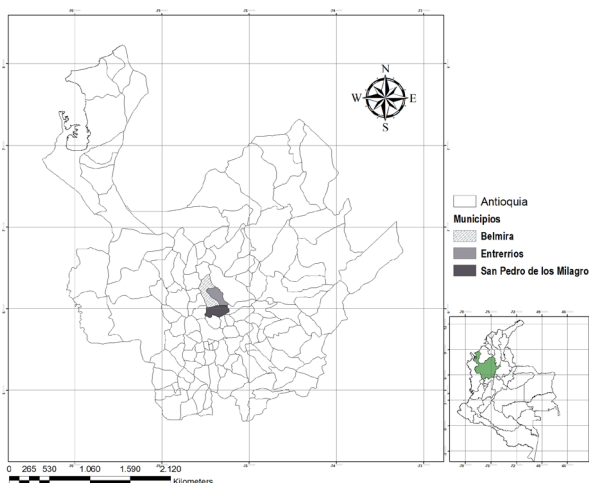


Figura 1. Localización geográfica de los tres municipios de la zona norte de Antioquia (Colombia) incluidos en el estudio. Los puntos en cada municipio corresponden a la ubicación de las ocho fincas ganaderas muestreadas por municipio. Fincas F1-F8 correspondientes al municipio de Entreríos, F9 -F16 Municipio de Belmira y F17- F24 Municipio de San Pedro de los Milagros.

MUESTREO DE SUELO

Fueron seleccionadas 24 fincas adscritas a las cooperativas ganaderas de los municipios de Entreríos, Belmira y San Pedro de los milagros, ubicados en la subregión norte del departamento de Antioquia. Los predios se delimitaron para definir las unidades de muestreo, considerando cada suelo como un terreno homogéneo e independiente, y se llevó a cabo según protocolo descrito por el ICA (19). Cada muestra se tomó en potreros que se encontraban en pastoreo al momento de la visita, es decir, que se encontraran animales pastoreando. Se efectuó un recorrido en zig-zag sobre cada

unidad de muestreo, tomando muestras en cada vértice donde cambió la dirección del recorrido (Fig. 2a).



Figura 2. a. Delimitación del terreno; **b.** Toma de submuestras de suelo.

Dentro de cada unidad de muestreo se tomó una muestra de suelo que fue en realidad una “muestra compuesta”. Es decir, una muestra de suelo se compuso de varias submuestras tomadas aleatoriamente en el campo (Fig. 2a). El número de submuestras tomadas por unidad de muestreo fue de 10. En cada sitio de muestreo se removieron las plantas y hojarasca fresca (1-3 cm) de un área de 40 cm x 40 cm, con ayuda de barreno y pala, se realizó la extracción de suelo de una profundidad de 20 cm (Fig. 2b), luego se transfirió aproximadamente de 100-200 g de suelo a un recipiente plástico limpio, se removieron piedras, raíces gruesas, lombrices e insectos del suelo. Las porciones del suelo se desmenuzaron manualmente; y al final las submuestras se mezclaron en el recipiente hasta completar 10. Posteriormente se transfirió 1 kg de suelo a una bolsa plástica limpia, cerrada y marcada con el código de la finca muestreada, fecha y municipio. Todas las muestras fueron preservadas en refrigeración y transportadas al laboratorio central de investigación

adscrito a la escuela de microbiología de la universidad de Antioquia para su respectivo análisis.

DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO

Para la determinación de la textura en campo se utilizó el método de textura a mano (Tacto). En este proceso, se toman 25 gramos de muestra de suelo seco, la cual es humedecida y amasada entre los dedos hasta la formación de una pasta de estructura homogénea. Posteriormente se toma una porción de la muestra entre los dedos índice y pulgar ejerciendo presión sobre la misma hasta la obtención de una especie de cinta en la cual se observará la presencia de brillo, si es áspera o lisa. La muestra es considerada arenosa, si la sensación es áspera y abrasiva posterior a la exposición al tacto. Por el contrario, la muestra es arcillosa cuando la cinta formada presenta cohesión, brillo y una sensación pegajosa según su contenido de humedad (20).

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

Las variables evaluadas dan cuenta de la porción de nutrientes que se encuentran disponibles para las plantas y corresponden a una serie de parámetros fisicoquímicos que fueron determinados con el kit portátil para el análisis de suelos de LaMotte Company, modelo STH-14 (21). Se evaluó pH, Nitrato, Fósforo, Ion Férrico, Magnesio, Manganeso, Aluminio, Nitrógeno amoniacal, Nitrito, Potasio, Sulfato, Calcio y Cloruro. Los parámetros fueron reportados en partes por millón (mg/Kg), a excepción del pH y Humus, cuyos valores fueron asignados de forma cualitativa según disposición del kit (21). Cada procedimiento ejecutado para la determinación del parámetro se realizó según las recomendaciones del fabricante.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis bivariado con estadísticos descriptivos para cada una de las variables, y para ilustrar la información se realizaron cuadros en las cuales se contrastan los valores de los parámetros fisicoquímicos de las fincas evaluadas en cada uno de los municipios. Se empleó el paquete estadístico IBM SPSS Statistics 23 de licencia libre.

Los resultados fueron examinados a criterio del investigador mediante un análisis bivariado con el cual se estimó la homogeneidad de las varianzas con el

estadístico de Levene, se realizó ANOVA y pruebas paramétricas, no paramétricas, y por último pruebas Post Hoc, específicamente la prueba de Bonferroni para las concentraciones de los parámetros evaluados en cada uno de los municipios en los cuales arrojaron diferencias significativas al interior de sus tratamientos con un valor de $P < 0,05$. La interpretación de la información obtenida consistió en contrastar los valores para cada elemento del suelo analizado respecto a los valores encontrados por diversos autores y consignados en la literatura científica.

Aspectos éticos

Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de Investigación en Salud de la Universidad Pontificia Bolivariana, según el acta N°7 del 23 de mayo de 2012. La participación en la investigación se limitó a fincas cuyos propietarios accedieron de forma voluntaria y proporcionaron su consentimiento mediante la firma de la autorización correspondiente.

Resultados

TEXTURA DEL SUELO

El color y la textura del suelo dependen de sus componentes y tienen gran influencia sobre procesos de fertilidad, porosidad y retención de agua y oxígeno; estos parámetros fueron determinados por métodos de tacto (Tacto) y visualización, debido a su gran utilidad y por la facilidad de su uso en campo. Los resultados fueron variables en precisión entre cada uno de ellos, observando un color predominantemente negro con una disposición laminar y una textura arcillosa para el 54,2 % de los hatos ganaderos evaluados. Las muestras de suelos del municipio de Entreríos presentaron un color negro y una textura arenosa de 75 % y 62,5 % respectivamente. En el municipio de Belmira, los suelos presentaron una coloración café en el 75 % y una textura arcillosa del 62,5 %. Por último, el municipio de San Pedro presentó un valor del 62,5 % tanto para el color negro como para la textura arcillosa de las muestras analizadas (Tabla 1).

Tabla 1. Textura y color del suelo determinados en los hatos ganaderos de la subregión norte del departamento de Antioquia.

Municipio	Código del predio	Textura	Color
Entreríos	F1	Arenoso	Negro
	F2	Arcilloso	Negro
	F3	Arcilloso	Café
	F4	Arenoso	Negro
	F5	Arenoso	Negro
	F6	Arcilloso	Café
	F7	Arenoso	Negro
	F8	Arenoso	Negro
Belmira	F9	Arcilloso	Café
	F10	Arcilloso	Café
	F11	Arenoso	Negro
	F12	Arenoso	Café
	F13	Arcilloso	Negro
	F14	Arcilloso	Café
	F15	Arcilloso	Café
	F16	Arenoso	Café
San Pedro de los Milagros	F17	Arenoso	Café
	F18	Arcilloso	Café
	F19	Arenoso	Negro
	F20	Arcilloso	Negro
	F21	Arcilloso	Café
	F22	Arcilloso	Negro
	F23	Arenoso	Negro
	F24	Arcilloso	Negro

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

En relación con el pH, se observa que el 50 % de las fincas evaluadas presentaron niveles fuertemente ácidos ($pH < 5,0$). Asimismo, un 20,83 % de las fincas exhibieron un pH moderadamente ácido (pH entre 5,0 y 6,0), mientras que un 4,17 % mostraron un pH ligeramente ácido (pH entre 6,1 y 6,5). Por otro lado, un 16,67 % de los suelos se encontraron en la categoría de pH neutro (pH 7,0), y un 4,17 % mostraron niveles extremadamente ácidos ($pH < 5,0$). Únicamente un 4,17 % de los suelos presentaron un pH medianamente básico ($pH > 7,0$), (22).

En cuanto a valores específicos, el pH más bajo se registró en el predio F16, una hacienda ubicada en el municipio de San Pedro de los Milagros, con un valor de $pH = 4,0$ (fuertemente ácido). En contraste, el pH

más alto se evidenció en el predio F7, perteneciente al municipio de Belmira, con un valor de pH= 7,60 (Alcalino).

En cada municipio, se observó una variación en los niveles promedio de pH. En Entrerriós, el pH promedio fue de 6,68; clasificándose como moderadamente ácido (pH entre 6,1 y 7,0). Por otro lado, Belmira presentó un promedio de pH de 5,95 indicando un carácter moderadamente ácido (pH entre 5,1 y 6,0). San Pedro de los Milagros mostró un pH promedio de 5,55, también categorizado como moderadamente ácido (pH entre 5,1 y 6,0), como se observa en la figura 2.

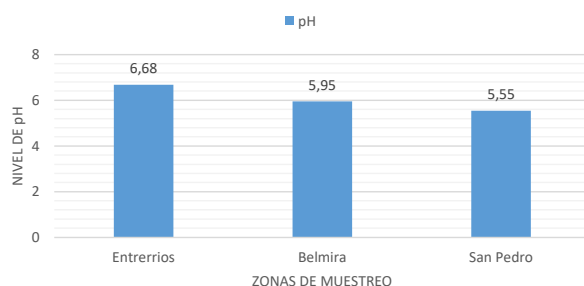


Figura 2. Promedio de los niveles de pH en cada zona de muestreo.

Para el caso de la materia orgánica (Humus), la concentración promedio para cada zona fue igual en los suelos de los municipios de Entrerriós y San Pedro, con una concentración de 1mg/Kg y el promedio más alto fue de 1,29 mg/Kg, determinado en los suelos del municipio de Belmira.

Concentración de Materia Orgánica

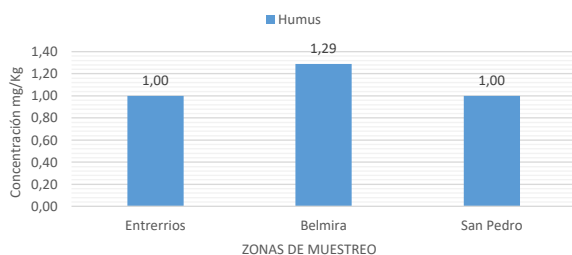


Figura 3. Concentración promedio de Materia Orgánica (Humus) en cada zona de muestreo.

En referencia a los macroelementos presentes en los suelos de los tres municipios (Fósforo, Cloruro y Sulfato), se proporciona el promedio de las concen-

traciones, las cuales fueron expresadas en mg/kg para cada zona. En el municipio de Entrerriós, en promedio se obtuvieron concentraciones de 18,75 mg/kg de fósforo, 371,88 mg/kg de cloruro y 1065,63 mg/kg para sulfato. Por otro lado, en Belmira, se registraron valores de 25,31 mg/kg para fósforo, 337,50 mg/kg para cloruro y 1300 mg/kg para sulfato. San Pedro presentó concentraciones de 42,50 mg/kg para fósforo, 256,25 mg/kg para cloruro y 646,88 mg/kg para sulfato (Fig. 4).

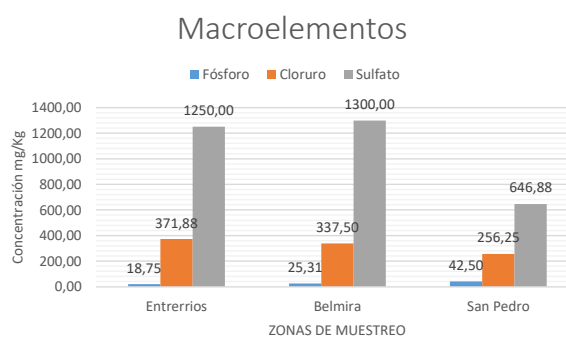


Figura 4. Concentración de Fósforo, Cloruro y Sulfato (Macroelementos) en cada zona de muestreo.

En cuanto a los niveles de nitrógeno de los 3 municipios los valores promedio fueron expresados en mg/Kg, arrojando registros de 10,00 para nitrato, 5,63 para nitrógeno amoniacal y 1,00 para nitrito. Belmira presentó en promedio concentraciones de 8,13 para nitrato, 5,00 para nitrógeno amoniacal y 2,00 para nitrito. En San Pedro, se observaron concentraciones de 21,25 para nitrato, 5,00 para nitrógeno amoniacal y 1,00 para nitrito (Fig. 5).

Niveles de nitrógeno

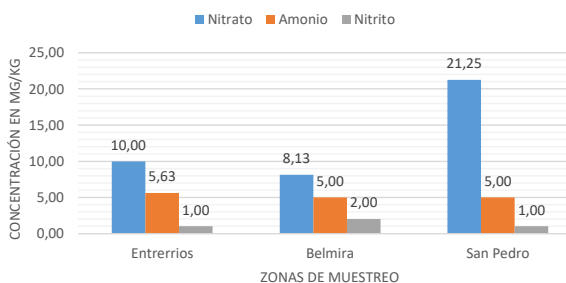


Figura 5. Concentración de Nitrato (NO₃⁻), Nitrito (NO₂⁻), y Nitrógeno amoniacal (NH₄⁺) en cada zona de muestreo.

A partir del análisis estadístico realizado, se concluyó que no existen diferencias significativas en las concentraciones de los parámetros evaluados (pH, concentración de materia orgánica, macroelementos presentes y niveles de nitrógeno) dentro de cada uno de los tres municipios: Entrerriós, Belmira y San Pedro de los Milagros ($p > 0,05$). Sin embargo, se identificaron diferencias al interior de los valores de Sulfato y Nitrato dentro de cada municipio ($p < 0,05$).

Como resultado del análisis estadístico se pudo determinar que no se presentaron diferencias significativas para las concentraciones de los parámetros

evaluados al interior de cada uno de los tres municipios ($p > 0,05$) a saber: Entrerriós, Belmira y San Pedro de los Milagros; excepto para los valores obtenidos para Sulfato y Nitrato los cuales presentaron diferencias significativas al interior de cada municipio. Por tal razón, se realizaron pruebas *Post Hoc* para determinar las diferencias al interior de los grupos y se estimó que únicamente se presentaron diferencias significativas en las concentraciones de Sulfato entre los municipios de Belmira y San Pedro de los Milagros, como se observa en el Tabla 2.

Tabla 2. Prueba Post Hoc (*Bonferroni*) para variables con diferencias significativas al interior de sus tratamientos, con un valor $P < 0,05$.

Parámetro fisicoquímico evaluado	Bonferroni						
	(I) Municipio	(J) Municipio	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Valor p	Intervalo de confianza al 95 %	
						Lím inferior	Lím superior
Nitrato	Entrerriós	Belmira	1,1667	5,2775	1,000	-12,562	14,895
		San Pedro	-11,7500	4,8477	0,073	-24,361	0,861
	Belmira	Entrerriós	-1,1667	5,2775	1,000	-14,895	12,562
		San Pedro	-12,9167	5,5193	0,088	-27,274	1,441
	San Pedro	Entrerriós	11,7500	4,8477	0,073	-0,861	24,361
		Belmira	12,9167	5,5193	0,088	-1,441	27,274
Sulfato	Entrerriós	Belmira	-693,3333	336,7988	0,156	-1569,465	182,798
		San Pedro	368,1250	309,3694	0,742	-436,653	1172,903
	Belmira	Entrerriós	693,3333	336,7988	0,156	-182,798	1569,465
		San Pedro	1061,4583	352,2326	0,020	145,178	1977,739
	San Pedro	Entrerriós	-368,1250	309,3694	0,742	-1172,903	436,653
		Belmira	-1061,4583	352,2326	0,020	-1977,739	-145,178

* $p > 0,05$

En cuanto a los microelementos presentes en los suelos de los tres municipios, se destacan la variación en los promedios de las concentraciones que fueron expresadas en mg/Kg. En Entrerriós, se registraron valores de 95,63 para aluminio, 7,81 para hierro y 5,00 para manganeso. Por su parte, Belmira presentó concentraciones promedio de 89,38 para aluminio, 8,44 para hierro y 5,88 para manganeso. San Pedro mostró niveles de 68,75 para aluminio, 2,34 para hierro y 5,00 para manganeso. Resultados que están consignados en la figura 6.

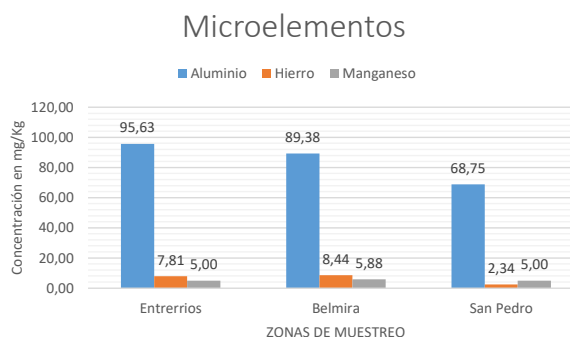


Figura 6. Concentración de Aluminio (Al), Hierro (Fe) y Manganeso (Mn) en cada zona de muestreo.

Discusión

Una de las propiedades fisicoquímicas más importantes del suelo es el pH, que ejerce gran influencia sobre el crecimiento de las plantas gracias a su capacidad para absorber nutrientes y solubilizar materia orgánica. Para Valdés *et al.* (23), un suelo ácido es aquel que tiene un pH menor de siete y por lo general hay una buena cantidad de microelementos disponibles; sin embargo, la acidez del suelo como limitante para el desarrollo de las plantas sólo adquiere importancia cuando los niveles de pH son inferiores a 5,5 difiriendo con los valores promedio obtenidos durante el desarrollo de esta investigación.

En el municipio de Entrerriós, predominan suelos arenosos (75%) con un pH moderadamente ácido (6,7) y baja concentración de materia orgánica (1 mg/kg). Estos resultados coinciden con los reportados por Rincón (24), en los cuales las concentraciones de materia orgánica fueron generalmente bajas, relacionadas con el valor esperado para suelos moderadamente ácidos y asociadas a posibles problemas de fertilidad en este tipo de suelos. Estos hallazgos están directamente relacionados con los niveles medios de fósforo (15-40 mg/Kg) y la concentración elevada de aluminio (95,6 mg/kg), lo que afecta la acidez y la disponibilidad de nutrientes para el desarrollo de la cobertura vegetal.

Cuando los suelos son fuertemente ácidos, el Aluminio retenido por las arcillas es totalmente diluido aumentando su nivel de toxicidad, debido a la carga positiva de sus partículas (Al^{3+}) que dificultan en mayor medida el crecimiento de las plantas, limitando así la producción del suelo (25).

Por otro lado, Belmira exhibe suelos de color café (75%), con texturas arcillosas y arenosas. Aunque su pH (5,9) es moderadamente ácido y la concentración de materia orgánica es ligeramente mayor (1,3 mg/kg), los niveles elevados de fósforo, cloruro y sulfato (25,3; 337,5 y 1300 mg/Kg, respectivamente). A pesar de reportar una concentración de aluminio ligeramente menor (89,4 mg/kg), sigue siendo considerablemente perjudicial para el desarrollo vegetal como lo demuestra el estudio realizado por Combatt *et al.* (26).

El Potasio (K), se encuentra entre los principales nutrientes requeridos por las plantas para llevar a cabo sus funciones biológicas y según su necesidad para los cultivos puede ser considerado como un ma-

cronutriente (27); razón por la cual algunos autores lo clasifican como un nutriente fundamental para el desarrollo de las plantas (28).

La concentración de Aluminio y la disponibilidad de iones como los anteriormente mencionados, juegan un papel fundamental sobre el crecimiento de las plantas y la acidificación gradual del suelo generada por la sustitución de sus bases intercambiables (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+1}) por iones de Hidrógeno y Aluminio (H^{+} y Al^{+3}), otorgando un grado de toxicidad al suelo debido al contenido excesivo de aluminio como lo reporta Puerto (29).

En San Pedro de los Milagros, la textura del suelo es mayoritariamente arcillosa (62,5%) con un pH moderadamente ácido de 5,55. Aunque presenta niveles más altos de fósforo, cloruro y sulfato en comparación con Entrerriós, pero inferiores a Belmira, las concentraciones de aluminio, hierro y manganeso (68,7, 2,4 y 5 mg/kg, respectivamente) indican condiciones adecuadas para el crecimiento vegetal. A pesar de un pH ligeramente más bajo, los niveles de nutrientes sugieren una buena disponibilidad.

La presencia de texturas arcillosas en los tres municipios indica propiedades físicas similares, aunque la variabilidad en los niveles de pH sugiere la necesidad de abordar específicamente la disponibilidad de nutrientes en cada ubicación. Además, las diferencias en la gestión de macro y microelementos reflejan prácticas agrícolas y ganaderas distintas. En cuanto a la diferenciación, a pesar de las similitudes, los niveles específicos de pH y nutrientes revelan disparidades en las prácticas de manejo del suelo y la geología local. Entrerriós y Belmira comparten características similares, mientras que San Pedro de los Milagros muestra ciertas variaciones, posiblemente relacionadas con una mayor actividad agrícola. Los valores obtenidos de materia orgánica indican que estos suelos tienen bajos contenidos de esta, ajustándose a los resultados obtenidos por Bernal *et al.*, (30) donde correlacionaron los bajos niveles de materia orgánica con el uso intensivo al que los suelos colombianos han sido sometidos, que a la postre conlleva a la concepción de suelos pobres para el desarrollo de la actividad agrícola.

Este tipo de suelos se caracterizan por su abundante concentración de Potasio (K) producidos por la orina de animales de pastoreo, favoreciendo así los procesos de compactación del suelo como producto

del pisoteo permanente del ganado, ocasionando una disminución drástica en los niveles de productividad, generación interna de elementos por mineralización de la materia orgánica y procesos de meteorización, situación explicada por Funes (31).

La variación entre los niveles de fósforo y manganeso (Mn) generalmente se presenta en suelos ácidos con climas fríos y altos niveles de humedad (32), como es el caso de los suelos de los 3 municipios seleccionados pertenecientes a la subregión norte del departamento de Antioquia. La disponibilidad y distribución de estos nutrientes está influenciada por las condiciones de salinidad y granulometría de los suelos y puede estar relacionada con una baja actividad microbiana y la formación de quelatos de Mn que no son disponibles para las plantas (33).

Además, a pesar de las variaciones, los niveles de nitrógeno en los tres municipios se encuentran dentro de rangos que indican suelos con potencial agrícola. La aplicación adecuada de fertilizantes nitrogenados puede ser crucial para mantener y mejorar la fertilidad del suelo en cada municipio. La baja disponibilidad de nitrógeno en ciertas formas resalta la importancia de estrategias de fertilización específicas para cada municipio, teniendo en cuenta las dinámicas de las especies nitrogenadas y los ciclos biogeoquímicos, y la importancia de este como el nutriente más ampliamente utilizado en el sector agrícola, según la Norma Oficial Mexicana (34), en los procesos de fertilización del suelo, ya que las formas más aprovechables no son suficientes para satisfacer las necesidades de un cultivo.

Los sulfatos son minerales en su mayoría compuestos por el anión sulfato (SO_4^{2-}) y un catión (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+1}). A pesar de ser un mineral relativamente común, la presencia de sulfatos en el suelo no es muy frecuente por su facilidad de lavado, puesto que pueden transitar libremente a través de los horizontes del suelo (35). Las estimaciones hechas en los hatos ganaderos de la subregión norte, arrojan concentraciones muy altas de este ion, y aunque la cantidad de sulfatos se ve favorecida en climas áridos o semiáridos, estos niveles pueden ser producidos por el uso excesivo de fertilizantes en este tipo de suelos, dando como resultado bajos niveles de fertilidad debido a su poca capacidad de retención de agua y otros nutrientes (36).

El contenido total de hierro y manganeso no siempre está relacionado con el nivel de fertilidad desde

el punto de vista químico, pero si se puede convertir en un indicador para obtener una aproximación de la riqueza potencial de un determinado elemento en este tipo de suelos, siendo el contenido de materia orgánica, arcilla y actividad microbiana las propiedades del suelo que controlan en mayor medida la disponibilidad de estos metales en este tipo de suelos (37).

Los contenidos de potasio (K) y magnesio (Mg) en el suelo están correlacionados con el contenido de aluminio (Al), siendo uno de los factores limitantes de mayor importancia provocado por las actividades agrícolas y que tienen efecto directo sobre los niveles de pH (38). Dadas las características (niveles bajos de materia orgánica, pH levemente ácido, buena relación de bases intercambiables, niveles moderados de fósforo, nitratos y sulfatos) expresadas según los valores promedio arrojados durante el desarrollo de la presente investigación es posible considerar que, en los suelos de la subregión norte del departamento de Antioquia se ven favorecidas las condiciones para que los suelos de estas zonas puedan ser considerados como aptos para el desarrollo de la actividad agrícola.

Desde el punto de vista de la producción agrícola, la aptitud de los suelos colombianos está dada por la capacidad que tienen de promover el crecimiento vegetal sin generar una degradación progresiva o un impacto ambiental negativo como consecuencia del uso y malas prácticas de manejo (39). Por otro lado, las concentraciones reducidas de hierro y manganeso, por debajo de los niveles óptimos para el desarrollo de tejidos vegetales, como lo señala Martínez (40), aluden la importancia de vigilar y corregir estas deficiencias. Esta corrección es vital para asegurar un crecimiento vegetal óptimo en los suelos del norte del departamento de Antioquia.

Conclusiones

Estos resultados resaltan la necesidad de adaptar prácticas agrícolas y ganaderas según las características específicas de cada municipio. La gestión cuidadosa del pH y nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno, es esencial para mantener la salud y productividad del suelo. La variabilidad en la presencia de aluminio sugiere la importancia de evaluar y abordar la acidez del suelo para garantizar condiciones óptimas para el cre-

cimiento de cultivos y la sostenibilidad a largo plazo de la agricultura en la región.

Es importante señalar que estos estudios exploratorios no solo ofrecen una visión detallada de las propiedades del suelo, sino que también desempeñan un papel crucial en la toma de decisiones a corto y mediano plazo. Estos datos constituyen una base valiosa para identificar las principales limitantes edáficas dentro de los sistemas de producción estudiados. La continuidad de estos estudios y la alimentación constante de estas bases de datos son esenciales para mejorar la comprensión de los suelos locales y desarrollar estrategias de manejo más efectivas y sostenibles.

Declaración de conflicto de intereses. Los autores manifiestan no tener ningún conflicto de interés.

Agradecimientos

Agradecemos a la Unidad de Asistencia Técnica de COLANTA, a los propietarios, personal administrativo y técnico de las fincas estudiadas por su invaluable cooperación para la ejecución de esta investigación y su apoyo durante las diferentes labores de muestreo.

Financiación

COLCIENCIAS proyecto código 121056934576-Contrato 653-2013, Universidad Pontificia Bolivariana radicado CIDI UPB 211B-02/14-65.

Referencias

1. **Tarbutck EJ, Lutgens FK, Tasa D.** Meteorización y suelo. Ciencias de la tierra. Madrid: Pearson Educación; 2005.
2. **Parsons A, Abrahams A.** Geomorphology of desert environments. Free Preview. Springer Netherlands. 2009;187:3-7.
3. **Qi XL, Li R, Zang J, Zhang SC.** Inducing a magnetic monopole with topological surface states. Science. 2009;323(5918):1184-1187.
4. **Bennett EM, Carpenter SR, Caraco, NF.** Human impact on erodible phosphorus and eutrophication: a global perspective increasing accumulation of phosphorus in soil threatens rivers, lakes, and coastal oceans with eutrophication. *BioScience*. 2001;51(3):227-234.
5. **Pabón JD, Rodríguez N, Bernal NR, Castiblanco MA, Sánchez YV.** Modelamiento del efecto del cambio en el uso del suelo en el clima local-regional sobre los Andes colombianos. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 2013;37(144):379-391. DOI: <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.16>
6. **Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).** Guía para la descripción de suelos. 4° ed. Roma: Proyecto FAO SWALIM; 2009. p. 21-54
7. **Chará J, Murgueitio E, Zuluaga A, Giraldo C.** Ganadería colombiana sostenible. Mainstreaming Biodiversity in sustainable cattle ranching. Colombia: Fundación CIPAV; 2011.
8. **García DE, Wencome HB, Medina MG, Noda Y, Cova LJ, Spengler I.** Evaluación de la calidad nutritiva de siete ecotipos de *Leucaena macrophylla* (Benth.) en un Suelo Ferralítico Rojo Lixiviado. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 2008;25(1):43-67.
9. **Doran JW, Sarrantonio M, Liebig MA.** Soil Health and Sustainability. En: Sparks, D. *Advances in Agronomy*. 1996;56:1-54.
10. **Herrick J.** Soil quality: an indicator of sustainable land management? *Applied Soil Ecology*. 2000;15(1):75-83.
11. **Wang Q, Liu J, Wang Y, Guan J, Liu Q, Lv D.** Land use effects on soil quality along a native wetland to cropland chronosequence. *European Journal of Soil Biology*, 2012;53:114-120.
12. **Doran JW, Zeiss MR.** Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*. 2000;15(1):3-11.
13. **Karlen DL, Andrews SS, Weinhold BJ, Doran JW.** Soil quality: Humankind's foundation for survival a research editorial by conservation professionals. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2003;58(4):171-179.
14. **Palma JM.** Los árboles en la ganadería del trópico seco. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 2005;9(1):1-11.
15. **Asier M, Mass-Moreno M, Etchevers BJ.** Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*. 2002;36(5):605.
16. **Vargas-Ríos O.** Restauración Ecológica: Biodiversidad y Conservación. *Acta Biológica Colombiana*. 2011;16(2):221-246.
17. **Ley 2294 de 2023 Congreso de la República de Colombia.** Disponible en: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=142257>
18. **CORANTIOQUIA.** Convenio Interadministrativo de Asociación entre el Departamento de Antioquia – Departamento Administrativo de Planeación y la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – Corantioquia. Aunar esfuerzos para realizar los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, en

- municipios de la región norte de Antioquia. Entrerrios; 2015 p. 269. Report No.: No 1409-56. Disponible en: https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/SUELO/AIRNR_CV_1502_6_2015_MEMORIAS_ENTRERRIOS.pdf
19. **Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)**. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de Asistencia Técnica N° 25. Bogotá: ICA; 1992.
 20. **Lyon TL, Buckman HO**. The nature and properties of soils. *Soil Science*. 1952;74(4):333.
 21. **LaMotte Company**. Model STH Series: Combination Soil Outfit. Instruction Manual; Chestertown: LaMotte Company; 2013.
 22. **Luters A, Salazar JC**. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Traducción al español de: "Soil Quality Test Kit Guide". Argentina: Instituto de Suelos; 2000.
 23. **Valdés G, Hidalgo C, Ordaz V, Hernández R, López P**. Cambios en las propiedades físicas de un suelo arcilloso por aportes de lombricompost de cachaza y estiércol. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*. 2005;30(12):775-779.
 24. **Rincón Suárez LM**. Caracterización fisicoquímica de algunos suelos de la zona de los municipios de Villanueva y Barichara-Santander [Tesis]. Universidad Industrial de Santander. 201. Disponible en: <http://tanguara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/134435.pdf>
 25. **Murgueitio E**. Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Development*. 2003;15(10):1-16
 26. **Combatt Caballero E, Mercado Fernández T, Palencia Severiche G**. Alteración química de la solución de un suelo sulfatado ácido, con enclamiento y lavado en columna disturbadas. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient*. 2009;12(1):101-1.
 27. **Mengel K, Kirkby EA**. Aplicación de fertilizantes. En: Mengel K, Kirkby EA. (eds.). *Principios de nutrición vegetal*. Suiza: Instituto Internacional del Potasio; 2000. p. 267-304.
 28. **Guerrero R**. Fuentes fertilizantes portadoras de elementos secundarios. En: Silva MF (ed.). *Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el silicio en la agricultura*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Colombia: Comité Regional de Cundinamarca y Boyacá, Colombia; 2001. p. 105-113.
 29. **Puerto LS**. Evaluación química de tres especies con potencial forrajero del trópico alto y medio. (Tesis). Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD); 2012.
 30. **Bernal MP, Paredes C, Sánchez-Monedero MA, Cegarra J**. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*. 1998;63(1):91-99.
 31. **Funes F**. Efectos de la quema y el pastoreo en el mantenimiento de los pastizales tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 1975;9:395-412.
 32. **Chen X, Tang J, Zhi G, Hu S**. Arbuscular mycorrhizal colonization and phosphorus acquisition of plants: effects of coexisting plant species. *Applied soil ecology*. 2005;28(3):259-269.
 33. **Roca N, Pazos MS, Bech J**. Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del NO argentino. *Ciencia del suelo*. 2007;25(1):31-42.
 34. **Normas Oficiales Mexicanas**. NOM-021-RECNAT. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Martes 31 de diciembre de 2002. México: Diario Oficial de la Federación UNINET, 2000.
 35. **Kowalenko CG**. Extraction of available sulfur. En: Carter, MR (ed.). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science. Canada: Lewis Publishers-CRC; 1993. p. 65-74.
 36. **Forster J**. Soil sampling, handling, storage and analysis. En: Alef K, Nannipieri P (eds.). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. UK: Academic Press/Elsevier; 1995. p. 49-121.
 37. **Ferraris GN**. Micronutrientes en cultivos extensivos. ¿Necesidad actual o tecnología para el futuro? En: García FO, Correndo AA (eds.). *Simposio Fertilidad: la nutrición de cultivos integrada al sistema de producción*. Argentina: IPNI-Fertilizar; 2011. p. 121-133.
 38. **Galindo G, Rodríguez N, Bernal NR**. Dinámica de la cobertura y uso del suelo en el sector nororiental de los Andes colombianos: 1975-2005. Informe final de proyecto "Relaciones entre la dinámica del uso del suelo y la climatología regional como una evidencia de cambio climático en la región de los Andes". Bogotá: Instituto Alexander von Humboldt-Universidad Nacional de Colombia -Colciencias; 2010.
 39. **Gregorich EG, Carter MR, Angers DA, Monreal CM, Ellert BH**. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*. 1994;74(4):367-385.
 40. **Martínez RM**. Evaluació del risc de clorosifèrrica a l'ambientedàfic de la vinyad'alguneszones de Catalunya. [Tesis doctoral]. Universitat de Barcelona, 2000.