




Recursos biofísicos

Artículo de investigación científica y tecnológica

Concentración de los macronutrientes del suelo en áreas de pastoreo del departamento de Caquetá, Amazonia colombiana

 Jennifer Zambrano-Yepes^{1*},  Wilmer Herrera-Valencia¹,  Pablo Andrés Motta-Delgado¹

¹ Misión Verde Amazonia. Florencia, Colombia

* Autor de correspondencia: Misión Verde Amazonia. Calle 20 No. 11-04. Barrio La Consolata. Florencia, Colombia.
jr.zambranoyepes@gmail.com

Recibido: 22 de octubre de 2019

Aceptado: 26 de febrero de 2020

Publicado: 17 de julio de 2020

Editor temático: Judith del Carmen Martín Atencia (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

Para citar este artículo: Zambrano-Yepes, J., Herrera-Valencia, W., & Motta-Delgado, P. A. (2020). Concentración de los macronutrientes del suelo en áreas de pastoreo del departamento de Caquetá, Amazonia colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(3), e1673.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1673

Resumen

El establecimiento de ganadería en el noroccidente de la Amazonia colombiana disminuye los macronutrientes en el suelo y afecta los sistemas productivos. El objetivo del estudio fue obtener información de diagnóstico sobre la concentración de los macronutrientes del suelo en lomerío sometidos a pastoreo en nueve municipios del departamento de Caquetá. Se realizaron 463 muestreos de suelo al azar para determinar la concentración en mg/kg de nitrato (N-NO₃), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S). Se realizaron análisis de varianza (Anova) y se compararon las medias mediante la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Se evidenció una concentración de N-NO₃ con medias de hasta 90,57 mg/kg en San José del Fragua, El Doncello y San Vicente del Caguán, que presentan diferencias estadísticas con respecto a Puerto Rico (18,83 mg/kg) y La Montañita (5,24 mg/kg). La concentración de P en San Vicente del Caguán, Puerto Rico y San José del Fragua tiene una media entre 1,4 mg/kg y 1,8 mg/kg, y presenta diferencias significativas respecto a La Montañita (3,5 mg/kg). La concentración de K, con una media entre 46,9 mg/kg y 74,2 mg/kg, no presentó diferencias significativas entre las localidades. San Vicente del Caguán fue el único municipio que presentó diferencias significativas de Ca (1.000,9 mg/kg) y Mg (226 mg/kg) en relación con los demás. En cuanto a S, se observaron diferencias significativas entre Cartagena del Chairá (2,29 mg/kg) y San José del Fragua (4,29 mg/kg). En conclusión, se evidenció una generalizada baja concentración de macronutrientes en comparación con los valores óptimos de suelos tropicales.

Palabras clave: alimentación del ganado, composición química del suelo, degradación del suelo, disponibilidad de nutrientes, ganadería extensiva, praderas

Concentration of soil macronutrients in grazing areas of the department of Caquetá, Colombian Amazon

Abstract

The establishment of livestock in the northwest of the Colombian Amazon affects production systems and decreases soil macronutrients. The aim of the study was to obtain diagnostic information of the macronutrients in soils of *lomerío* or rolling hills subject to grazing in nine (9) municipalities of the department of Caquetá. Four hundred sixty-three random soil samples were carried out to determine the concentration, in mg/kg, of nitrate (N-NO₃), phosphorous (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), and sulfur (S). Data analysis was carried out through analyses of variance, and the means were compared with Tukey's Test. A concentration of N-NO₃ with means of up to 90.57 mg/kg was evidenced in San José del Fragua, El Doncello, and San Vicente del Caguán showing statistical differences compared to Puerto Rico (18.83 mg/kg) and La Montañita (5.24 mg/kg). Phosphorous concentration in San Vicente del Caguán, Puerto Rico, and San José del Fragua recorded means between 1.4 mg/kg and 1.8 mg/kg with statistical differences in relation to La Montañita (3.5 mg/kg). The concentration of K, with a mean value between 46.9 mg/kg and 74.2 mg/kg, did not show significant differences between the localities. San Vicente del Caguán was the only municipality that discloses significant differences of Ca (1,000.9 mg/kg)

and Mg (226 mg/kg) compared to the others. As for S, there were significant differences between Cartagena del Chairá (2.29 mg/kg) and San José del Fragua (4.29 mg/kg). In conclusion, there was a low generalized concentration of macronutrients compared to the optimal values of tropical soils.

Keywords: livestock feeding, chemical composition of the soil, pastures, extensive husbandry, nutrient availability, soil degradation

Introducción

En el noroccidente de la Amazonia colombiana, la dinámica de cambio de la vegetación natural por pasturas se encuentra en constante aumento. Actualmente, el departamento de Caquetá concentra la mayor cantidad de alertas tempranas por deforestación del país, que representan el 34,6 % del total nacional (Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono para Colombia, 2017). La mayor parte del bosque natural se ha intervenido para el establecimiento de ganadería extensiva, de manera que a la fecha existen en el departamento 14.251 fincas dedicadas a esta actividad (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2017).

Los suelos más afectados por prácticas de ganadería extensiva son los que se localizan en el paisaje de lomerío amazónico. Estos suelos son pobremente drenados en las depresiones y bien drenados en el resto del territorio; poseen texturas finas con un cambio marcado en el porcentaje de arcilla entre los horizontes A y B; se caracterizan por baja fertilidad natural, poca disponibilidad de oxígeno y bajos contenidos de materia orgánica; son desde fuerte a extremadamente ácidos, y presentan alta saturación de aluminio, baja saturación de bases y pobre contenido de fósforo y potasio (Rosas et al., 2016).

La escasez de nutrientes en el suelo limita la producción vegetal y el desarrollo de actividades productivas dependientes de la fertilidad edáfica (Morgan & Connolly, 2013). Los macronutrientes son elementos que afectan la totalidad de los procesos de los seres vivos, por lo que en la nutrición del ganado bovino resultan indispensables (Escudero & Mediavilla, 2003; Silveira & Moura, 2020). Los macronutrientes cumplen numerosas funciones y se clasifican en dos grupos según la cantidad en la que se encuentran en los alimentos: los primarios, que son nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), y los secundarios, que incluyen calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) (Ringuelet & Gil, 2005).

Diversos estudios de zonas de pastoreo en la región amazónica reportan pérdida de nutrientes primarios y secundarios. Luizão (2007) afirma que con la edad de la pastura se pierden nutrientes en altas proporciones y Peña et al. (2013) reportan disminución de los niveles de Ca y Mg en paisajes degradados. Asimismo, en su estudio de los macronutrientes en suelo de vega, lomerío y montaña, Becerra-Ordoñez et al. (2014) señalan que los valores de los parámetros Ca, Mg, K y P, independientemente de la geoforma considerada, fueron similares a los registrados por Peña-Venegas y Cardona (2010) en suelos expuestos a pastoreo. Por su parte, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2014) realizó un estudio general que permitió el levantamiento agrológico para actualizar y completar el mapa de suelos de Caquetá y sirvió como insumo para determinar la calidad del suelo de la región.

En vista de la importancia de los macronutrientes y los constantes problemas de degradación del suelo causados por el pastoreo en el noroccidente amazónico, el objetivo de esta investigación fue obtener información diagnóstica de la concentración de macronutrientes del suelo de lomerío sometido a pastoreo en nueve municipios del departamento de Caquetá.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se desarrolló en nueve municipios con potreros degradados sometidos a pastoreo en el departamento de Caquetá (Colombia), localizado al noroeste de la región Amazonia, entre los 00°42'17" de latitud sur y 02°04'13" de latitud norte, y los 74°18'39" y 79°19'35" de longitud oeste del meridiano de Greenwich (IGAC, 2014). El tipo de suelo más importante en Caquetá es el ultisol y la carga animal bovina oscila entre 0,43 UA/ha y 0,72 UA/ha (IGAC, 2014). Además, el departamento tiene una temperatura promedio anual de 25,6 °C, precipitaciones superiores a los 3.000 mm anuales, 1.490 horas de brillo solar, humedad relativa de 87,1 % y una evapotranspiración potencial que alcanza los 1.232 mm (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2005; IGAC, 2014). Los municipios seleccionados fueron Albania, Cartagena del Chairá, El Doncello, El Paujil, La Montañita, Milán, Puerto Rico, San José del Fragua y San Vicente del Caguán (figura 1), cuyas características analizadas en el estudio se describen en la tabla 1 (Motta-Delgado & Ocaña-Martínez, 2018; Torrijos et al., 2016).

Tabla 1. Características de cobertura y población bovina por municipio

Municipio	Extensión (ha)	Pasturas (ha)	Población bovina
Albania	42.931,87	37.930,00	31.093
Cartagena del Chairá	1.274.439,23	293.017,00	129.391
El Doncello	109.666,56	60.155,00	47.379
El Paujil	125.108,08	83.796,00	52.609
La Montañita	170.537,40	125.847,00	54.093
Milán	122.786,30	86.170,00	48.416
Puerto Rico	415.293,81	201.102,00	136.037
San José del Fragua	122.672,10	37.404,00	22.113
San Vicente del Caguán	1.749.624,15	452.643,00	612.573

Fuente: Murcia (2014), Murcia et al. (2018) e ICA (2016)

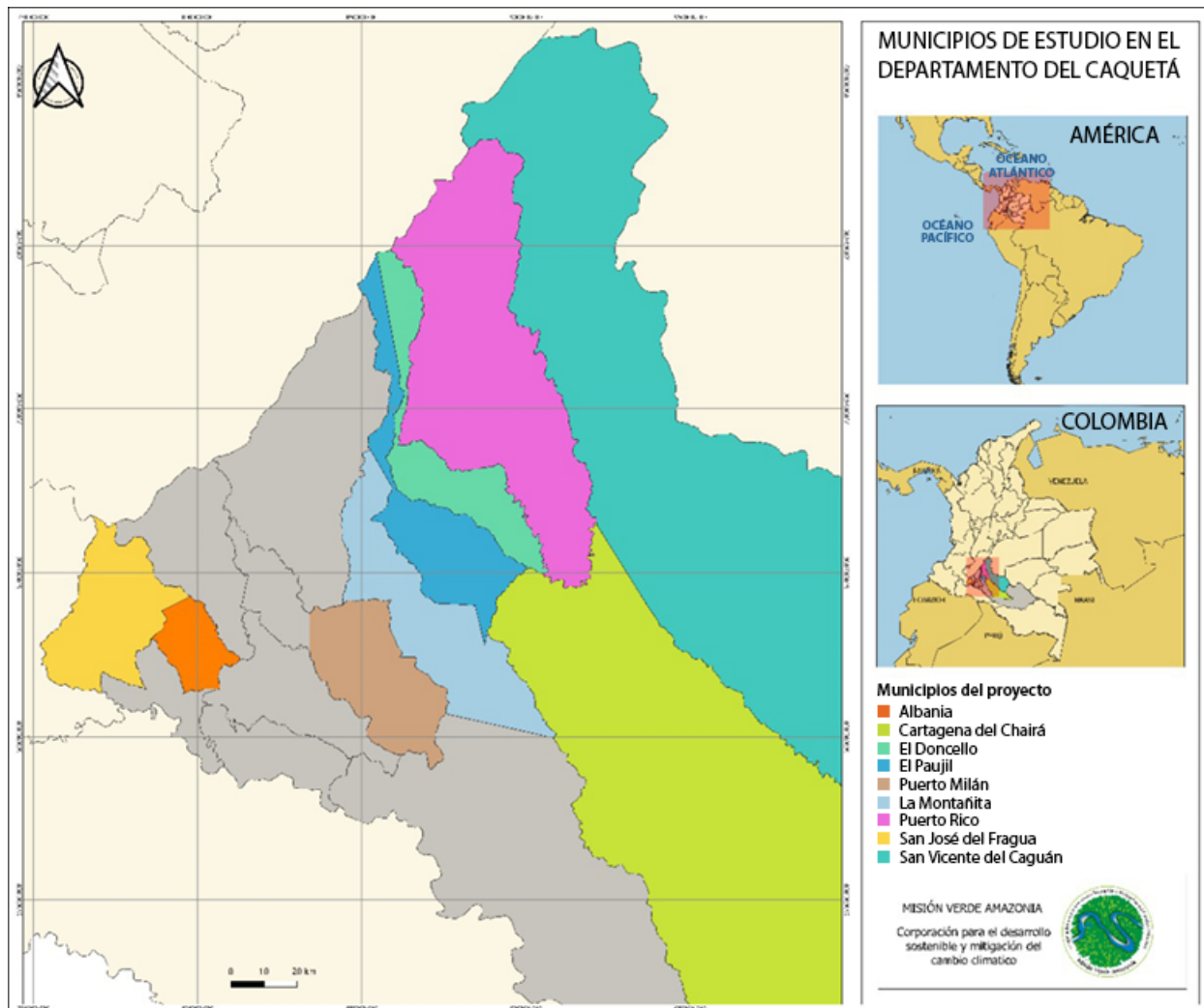


Figura 1. Municipios correspondientes al área de estudio.

Fuente: Elaboración propia

Muestreo y análisis de suelos

En el año 2016, durante época de lluvias, se realizó un análisis de la concentración de los macronutrientes del suelo en paisaje de lomerío expuesto a procesos esporádicos de fertilización con urea, triple 15 y enmiendas de tipo sintético, y sometido a pastoreo delimitado por cercas eléctricas o alambre de púas con una extensión entre 0,5 ha y 8,0 ha. Se tuvo en cuenta que la cobertura vegetal del suelo fuera pastura degradada por el pisoteo de ganado (>10 años) según los criterios establecidos por Dias-Filho (2011): pérdida de vigor y productividad, presencia de enfermedades e invasión de plagas y plantas.

Se realizó un muestreo estratificado con nueve estratos correspondientes a cada municipio. La población de análisis incluyó los predios ubicados en los nueve municipios, un total de 10.299 predios según datos del ICA (2016). El tamaño de la muestra fue calculado a partir de la población conocida por medio de la siguiente ecuación:

$$n = \frac{(N \times Z^2 \times p \times q)}{[d^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times q]}$$

Donde n: tamaño de la muestra; N: tamaño de la población (10.299); Z: nivel de confianza ($p < 0,05$); p: margen de éxito (0,5); q: margen de error (0,5), y d: precisión (máximo permitido en términos de error de relación) (4,45 %). De esta manera, se obtuvo un tamaño mínimo de muestra de 463 fincas y, por tanto, se realizaron 463 muestreos al azar de suelo en paisaje de lomerío sometido a pastoreo.

Para la recolección de las muestras, se realizó un hoyo de aproximadamente 25×25 cm de lado (625 cm^2 de área) y 20 cm de profundidad, se retiraron los primeros 2 cm del suelo, se extrajeron las muestras siguiendo la metodología propuesta por el IGAC (s. f.), se dispusieron en bolsas plásticas rotuladas con códigos y se enviaron al Laboratorio Dr. Calderón Ltda., en la ciudad de Bogotá. Los parámetros analizados fueron concentración en mg/kg de nitrato (N-NO₃), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S).

El procedimiento para la obtención de P, K, Ca y Mg se realizó con espectrofotómetro mediante el método Morgan modificado por Dr. Calderón Labs, que consiste en aplicar una solución extractora formada por cloruro de sodio, ácido cítrico y benzoato de sodio en pasta saturada de suelo; agitar durante una hora, y, finalmente, filtrar. El cloruro de sodio sirve para extraer el K, Ca y Mg, y el ácido cítrico sirve para extraer el P. El N-NO₃ se determina mediante kit de colorimetría con difenilamina en medio sulfúrico, y el S, por turbidimetría con cloruro de bario.

Análisis estadístico

El diseño fue un muestreo estratificado en el que los estratos fueron los nueve municipios con repeticiones desiguales por localidad. El número de fincas muestreadas por cada municipio fue de 28 en El Paujil, 34 en Cartagena del Chairá, 41 en San José del Fragua, 41 en La Montañita, 44 en El Doncello, 47 en Milán, 47 en Puerto Rico, 53 en Albania y 128 en San Vicente del Caguán. Las variables usadas fueron los diferentes elementos (N-NO₃, P, K, Ca, Mg y S). Los datos obtenidos se sometieron a un análisis descriptivo de variables y, con el fin de evaluarlas, se realizó un análisis de varianza (Anova) y se compararon las medias con la prueba de Tukey, usando el *software* InfoStat (Di Rienzo et al., 2017).

Resultados y discusión

Teniendo en cuenta los resultados del análisis de varianza en relación con los macronutrientes (tabla 2), la concentración de N-NO₃ en los municipios de San José del Fragua, El Doncello y San Vicente del Caguán (con una media entre 60,61 mg/kg y 90,57 mg/kg) presentan diferencias estadísticas con respecto a Puerto Rico (18,83 mg/kg) y La Montañita (5,24 mg/kg). Por otra parte, la concentración de P en San Vicente del Caguán, Puerto Rico y San José del Fragua (con una media entre 1,4 mg/kg y 1,8 mg/kg, presenta diferencias significativas respecto a La Montañita (3,5 mg/kg). La concentración de K presentó una media entre 46,9 mg/kg y 74,2 mg/kg, y no se observaron diferencias significativas entre las localidades analizadas. San Vicente del Caguán fue el único municipio que evidenció diferencias significativas de Ca (1.000,9 mg/kg) y Mg (226 mg/kg) en relación con los demás municipios. En cuanto al S, se observaron diferencias significativas entre Cartagena del Chairá (media de 2,29 mg/kg) y San José del Fragua (4,29 mg/kg).

La concentración de N-NO₃ reportó los contenidos más altos en los municipios de El Doncello, con una media de 90,57 mg/kg, San Vicente del Caguán, con 64,30 mg/kg, y San José del Fragua, con 60,61 mg/kg; mientras que las medias de concentración más bajas correspondieron a Puerto Rico, con 18,83 mg/kg, y La Montañita, con 5,24 mg/kg.

En cuanto a los contenidos de P, San Vicente del Caguán, Puerto Rico y San José del Fragua registraron los valores más bajos con medias de 1,81 mg/kg, 1,62 mg/kg y 1,4 mg/kg, respectivamente. En cambio, La Montañita fue la localidad con la mayor concentración (3,5 mg/kg).

San José del Fragua presentó la menor concentración de K con una media de 46,9 mg/kg, seguido por Puerto Rico (50,8 mg/kg) y Albania (58,6 mg/kg). En contraste, Cartagena del Chairá fue el municipio con la mayor concentración de K con una media de 74,2 mg/kg, seguido por Milán y El Doncello, con 70,3 mg/kg cada uno.

En relación con la concentración de Ca, San Vicente del Caguán, con una media de 1.009,9 mg/kg, presentó los valores más altos respecto a las demás localidades. Los municipios restantes evidenciaron niveles de concentración de Ca por debajo de 314,6 mg/kg.

Tabla 2. Medias de macronutrientes del suelo en áreas de pastoreo de nueve municipios de Caquetá

Localidad	Macronutrientes (mg/kg)					
	N-NO ₃	P	K	Ca	Mg	S
San José del Fragua	60,61 ± 9,56 ^{b^{ll}cd}	1,41 ± 0,28 ^a	46,9 ± 0,02 ^a	130,2 ± 0,45 ^a	20,7 ± 0,18 ^a	4,29 ± 0,44 ^b
Albania	32,74 ± 8,41 ^{abc}	1,94 ± 0,25 ^{ab}	58,6 ± 0,02 ^a	202,3 ± 0,40 ^a	42,5 ± 0,16 ^a	3,19 ± 0,39 ^{ab}
La Montañita	5,24 ± 9,56 ^a	3,54 ± 0,28 ^c	66,4 ± 0,02 ^a	218,4 ± 0,45 ^a	43,7 ± 0,18 ^a	3,10 ± 0,44 ^{ab}
El Paujil	20,18 ± 11,57 ^{ab}	3,00 ± 0,34 ^{bc}	62,5 ± 0,03 ^a	222,4 ± 0,55 ^a	55,9 ± 0,21 ^a	2,93 ± 0,53 ^{ab}
Puerto Rico	18,83 ± 8,93 ^a	1,62 ± 0,26 ^a	50,8 ± 0,02 ^a	314,6 ± 0,42 ^a	44,9 ± 0,17 ^a	2,77 ± 0,41 ^{ab}
El Doncello	90,57 ± 9,23 ^d	2,41 ± 0,27 ^{abc}	70,3 ± 0,02 ^a	230,4 ± 0,44 ^a	51,04 ± 0,17 ^a	3,48 ± 0,42 ^{ab}
Milán	45,32 ± 8,93 ^{abc}	2,15 ± 0,26 ^{ab}	70,3 ± 0,02 ^a	270,5 ± 0,42 ^a	48,61 ± 0,17 ^a	3,47 ± 0,41 ^{ab}
San Vicente del Caguán	64,30 ± 5,41 ^{cd}	1,81 ± 0,16 ^a	66,4 ± 0,01 ^a	1009,9 ± 0,26 ^b	226,0 ± 0,10 ^b	3,50 ± 0,25 ^{ab}
Cartagena del Chairá	40,29 ± 10,50 ^{abc}	2,59 ± 0,31 ^{abc}	74,2 ± 0,02 ^a	242,4 ± 0,50 ^a	49,8 ± 0,19 ^a	2,29 ± 0,48 ^a

I: error estándar, II: valores en cada columna seguidos por la misma letra no difieren estadísticamente (prueba Tukey, $p < 0,05$)

Fuente: Elaborado por el autor

San José del Fragua (20,7 mg/kg), Albania (42,5 mg/kg) y La Montañita (43,7 mg/kg) fueron las localidades con los valores de concentración de Mg más bajos con referencia al resto de municipios. Por otro lado, la mayor concentración de Mg se obtuvo en San Vicente del Caguán con una media de 226 mg/kg.

Según estudios realizados por Arango y Pérez (2005) en andisoles e inceptisoles, la concentración de N-NO₃ en suelos cultivados con banano presenta un rango entre 5 mg/kg y 77 mg/kg, y en suelos cultivados con flores se encuentra entre 8 mg/kg y 824 mg/kg. En suelos del trópico que tienen sistemas agroforestales

con cultivos de palma aceitera, la concentración de N-NO₃ no supera los 5,5 mg/kg (Santos et al., 2011). Por otro lado, Ferreira et al. (2006) identificaron concentraciones de 1,2 mg/kg en bosque con extracción selectiva de madera, y Moreira y Malavolta (2004) encontraron concentraciones de N-NO₃ de 6,4 mg/kg en cronosecuencia de pastizales. Sin embargo, en la presente investigación, los valores de N-NO₃ encontrados en pasturas degradadas oscilan entre 5 mg/kg y 90 mg/kg.

Según Keeney y Hatfield (2008), el aumento de fertilizantes inorgánicos incrementa los niveles de N en el ambiente, lo que genera desbalances en su ciclo natural. Es posible que los niveles de N-NO₃ encontrados en este estudio, con excepción del municipio de La Montañita, se deban a los procesos esporádicos de fertilización que suelen usarse en la región para intentar recuperar la productividad de las pasturas degradadas.

Respecto a la concentración de P, Fonte et al. (2014) observaron que su contenido disminuyó al aumentar el nivel de degradación de la pastura y plantearon su posible uso como indicador de degradación de suelos. Además, según Costa et al. (2006), se presenta un nivel bajo de P en la producción de pastos en concentraciones menores que 3,0 mg/kg. Los resultados del presente estudio coinciden con estos hallazgos, dado que se evidenciaron medias muy bajas de P que no superan los 3,5 mg/kg. Los municipios con la menor disponibilidad de P fueron Puerto Rico (1,62 mg/kg) y San José del Fragua (1,41 mg/kg).

Los datos obtenidos indican una concentración de K inferior en áreas sometidas a pastoreo (entre 46,9 mg/kg y 74,2 mg/kg) en comparación con los datos de un estudio realizado en suelos de bosque húmedo tropical por Gordillo y Bohórquez (2005), quienes reportaron medias de 208,17 mg/kg. Por otro lado, las concentraciones obtenidas en este estudio se encuentran por encima de los niveles críticos (31,12 mg/kg) que proponen Lascano y Spain (1988); sin embargo, en San Vicente del Caguán se reportan medias de 46,9 mg/kg, lo cual sugiere que las concentraciones de K en esta localidad están próximas a los niveles considerados deficientes para el establecimiento de gramíneas y leguminosas forrajeras.

En cuanto a la concentración de Ca, con una media de 1.009,9 mg/kg, San Vicente del Caguán obtuvo valores próximos a los 1.388 mg/kg reportados por Gordillo y Bohórquez (2005). La alta concentración de Ca en San Vicente del Caguán puede estar relacionada con quemas recientes, según alertas de incendios reportadas en la zona por el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono para Colombia (2017). De igual manera, Fernandes et al. (1997) sugieren que las cenizas albergan gran cantidad de bases que tienen la capacidad de neutralizar el pH del suelo; esto ocasiona que el aluminio se vuelva más soluble, se libere y el suelo aumente así su capacidad de fijar elementos importantes en la nutrición de las plantas, lo que genera mayor disponibilidad de Ca.

En comparación con San Vicente del Caguán, el resto de los municipios presentaron concentraciones inferiores de Ca; sin embargo, se aproximaron a los valores de lomerío amazónico inferiores a 600 mg/kg reportados por Peña et al. (2013) y concordaron, así, con la concentración de Ca, que osciló entre 130,2 mg/kg y 314,6 mg/kg, encontrada en el presente estudio en los municipios de El Paujil, Cartagena del Chairá, San José del Fragua, La Montañita, El Doncello, Milán, Puerto Rico y Albania. No obstante, al comparar los valores de este macronutriente con los hallados en el estudio realizado por Cabalceta y Molina (2006), se encontró que la concentración de Ca en el presente estudio se considera deficiente para suelos tropicales.

San Vicente del Caguán presentó concentraciones de Mg de 226 mg/kg, resultados mayores que los 66 mg/kg obtenidos por Peña et al. (2013) en el mismo departamento. Asimismo, se presentaron diferencias con los hallazgos de Gordillo y Bohórquez (2005), quienes reportaron medias de 1.107 mg/kg de Mg en suelo de bosque húmedo. Al comparar las concentraciones de Mg halladas en el presente estudio con los valores críticos sugeridos por Cabalceta y Molina (2006), se encontró que el único municipio por encima de estos niveles es San Vicente del Caguán.

La concentración de S en San José del Fragua, la localidad que presentó la mayor media con 4,29 mg/kg, es inferior a la obtenida por Lascano y Spain (1988), quienes reportaron 13 mg/kg en pastos de *Brachiaria decumbens* Stapf (Poaceae). Las bajas concentraciones de S en todos los municipios, especialmente en Cartagena del Chairá (media de 2,29 mg/kg), pueden asociarse con posibles quemas en la zona (Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono para Colombia, 2017), dado que la combustión produce una reducción temporal de S al volatizar dicho elemento (Corrales-Maldonado et al., 2014).

Considerando todo lo anterior, los datos obtenidos en el estudio evidencian una deficiencia en la concentración de macronutrientes de las áreas analizadas respecto a los valores óptimos para suelos tropicales. Esto sugiere que la capacidad de producción de las pasturas ha disminuido y, en consecuencia, las prácticas de ganadería son insostenibles (Becerra-Ordoñez et al., 2014; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2002).

Conclusiones

El establecimiento de potreros destinados a la ganadería en suelos amazónicos de paisaje de lomerío genera una baja concentración generalizada de elementos importantes como P, K, Ca, Mg y S, en comparación con los valores óptimos de concentración de macronutrientes para suelos tropicales. Esta práctica, aunada a la exposición del suelo a altas precipitaciones característica de este tipo de paisaje, conduce a la degradación del suelo, por lo que es necesario implementar procesos de ganadería sostenible como estrategia de restauración de los suelos del departamento de Caquetá.

Agradecimientos

A la Gobernación del Caquetá y al Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación (FCTeI) del Sistema General de Regalías de Colombia, por el apoyo financiero para la realización de este estudio como parte del proyecto “Implementación y validación de modelos alternativos de producción ganadera en el departamento de Caquetá”.

Descargos de responsabilidad

Todos los autores realizaron aportes significativos al documento, están de acuerdo con su publicación y manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Referencias

- Arango, P., & Pérez, J. C. (2005). Determinación de nitratos y amonio en muestras de suelo mediante el uso de electrodos selectivos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(1), 2733-2740. <http://www.bdigital.unal.edu.co/24365/1/21515-73509-1-PB.pdf>
- Becerra-Ordoñez, L. C., Bernal-Perilla, L. T., & Rodríguez-Pérez, W. (2014). Evaluación del nivel de degradación de suelo y pastura en tres geoformas de Florencia-Caquetá. *Momentos de Ciencia*, 11(2), 83-88. <https://bit.ly/3dSMKaG>
- Cabalceta, G., & Molina, E. (2006). Niveles críticos de nutrimentos en suelos de Costa Rica utilizando la solución extractora Mehlich 3. *Agronomía Costarricense*, 30(2), 31-44. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6808/6495>
- Corrales-Maldonado, C. G., Vargas-Arispuro, I., Vallejo-Cohén, S., & Martínez-Téllez, M. (2014). Deficiencia de azufre en suelos cultivables y su efecto en la productividad. *Biotechnia. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 16(1), 8-44. <https://doi.org/10.18633/bt.v16i1.32>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. (2002). *Los sistemas silvopastoriles en la ganadería bovina del trópico bajo colombiano. Manual técnico*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Fedegan, Colciencias. <https://bit.ly/2WZXXiY>
- Costa, N. L., Ramalho, C., Avelar, J., Tadeu, V., Valdinei, P., & Gomes, R. (2006). Recuperação e renovação de pastagens degradadas. *Revista Eletrônica de Veterinária REDVET*, 7(1), 9-49. <https://bit.ly/2zOII4n>
- Dias-Filho, M. B. (2011). *Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação* (4th ed.). http://www.diasfilho.com.br/Livro/Degrad_Past_4a_ed_Moacyr_Dias-Filho.pdf
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2017). *InfoStat* (Versión 2017) [Software]. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba. <https://www.infostat.com.ar>
- Escudero, A., & Mediavilla, S. (2003). Dinámica interna de los nutrientes. *Ecosistemas. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 12(1). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/download/247/243>
- Fernandes, E. C., Biot, Y., Castilla, C., Canto, A. C., Matos, J. C., Garcia, S., Perin, R., & Wanderlli, E. (1997). The impact of selective logging and forest conversion for subsistence agriculture and pastures on terrestrial nutrient dynamics in the Amazon. *Ciência e Cultura. Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science*, 49(1/2), 34-47. <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/209147/1/The-impact-of-selective-logging-and.pdf>
- Ferreira, S. J. F., Luizão, F. J., Miranda, S. A. F., Da Silva, M. S. F., & Vital, A. R. T. (2006). Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. *Acta Amazonica*, 36(1), 59-68. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000100008>
- Fonte, S. J., Nesper, M., Hegglin, D., Velásquez, J. E., Ramirez, B., Rao, I. M., Bernasconi, S. M., Bünemann, E. K., Frossard, E., & Oberson, A. (2014). Pasture degradation impacts soil phosphorus storage via changes to aggregate-associated soil organic matter in highly weathered tropical soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 68, 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.09.025>
- Gordillo, E., & Bohórquez, D. (2015). Concentración de nutrientes en hojas, hojarasca y suelo en bosque húmedo tropical. *Momentos de Ciencia*, 2(1), 7-10. <https://bit.ly/2zRiuip>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2016). *Censo Pecuario Nacional - 2016*. <https://www.ica.gov.co/getdoc/8232c0e5-be97-42bd-b07b-9cdbfb07fcac/censos-2012.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2017). *Censo Pecuario Nacional 2017*. <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2017.aspx>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2005). *Atlas climatológico de Colombia*. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019711/preliminares.pdf>

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2014). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Caquetá, escala 1.100.000*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (s. f.). *Guía de muestreo*. <https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guadademuestreo.pdf>
- Keeney, D., & Hatfield, J. (2008). Chapter 1 - The nitrogen cycle, historical perspective and current, and potential future concerns. In J. Hatfield & R. Follett (Eds.), *Nitrogen in the environment. Sources, problems, and management (2nd ed., pp. 1-18)*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374347-3.00001-9>
- Lascano, C. E., & Spain, J. M. (Eds.). (1988). *Establecimiento y renovación de pasturas. Memorias VI Reunión del Comité Asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Veracruz, México*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. [https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/394289/1/Serra oDiasFilhoMoacyrEstablecimiento%20y%20recuperaciondepasturas.pdf](https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/394289/1/Serra%20DiasFilhoMoacyrEstablecimiento%20y%20recuperaciondepasturas.pdf)
- Luizão, F. J. (2007). Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. *Ciência e Cultura*, 59(3), 31-36. <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v59n3/a14v59n3.pdf>
- Moreira, A., & Malavolta, E. (2004). Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(11), 1103-1110. <http://www.scielo.br/pdf/pab/v39n11/22582.pdf>
- Morgan, J. B., & Connolly, E. L. (2013). Plant-soil interactions: nutrient uptake. *Nature Education Knowledge*, 4(8), 2. <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/plant-soil-interactions-nutrient-uptake-105289112/>
- Motta-Delgado, P., & Ocaña-Martínez, H. (2018). Caracterización de subsistemas de pasturas braquiarias en hatos de trópico húmedo, Caquetá, Colombia. *Ciencia y Agricultura*, 15(1), 81-92. <https://doi.org/10.19053/01228420.v15.n1.2018.7759>
- Murcia, U. (Ed.). (2014). *Monitoreo de bosques y otras coberturas de la Amazonia colombiana, a escala 1: 100.000. Datos para el período 2012*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, Sinchi. http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=3088f7e5-4fbc-4c40-bfc3-2ef2b02839a4&groupId=762
- Murcia, U., Barón, O., León, A., & Arias, J. (2018). *Monitoreo de bosques y otras coberturas de la Amazonia colombiana, a escala 1:100,000. Cambios multitemporales en el período 2014 al 2016 y coberturas del año 2016*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, Sinchi.
- Peña, A. I., Rodríguez, C. H., & Suárez, J. C. (2013). Incidencia de niveles de intervención antrópica sobre propiedades químicas del suelo en coberturas de lomerío (Caquetá, Colombia). *Ingenierías y Amazonia*, 6(1), 5-14. <https://bit.ly/2U83uTT>
- Peña-Venegas, C. P., & Cardona, G. (2010). *Dinámica de los suelos amazónicos: procesos de degradación y alternativas para su recuperación*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, Sinchi. <https://www.sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/librosuelosweb.pdf>
- Ringuelet, A., & Gil, I. (2005). *Fertilizantes y abonos. Alimentos para las plantas*. Agencia Cordoba Ciencia. <http://www.cba.gov.ar/wp-content/4p96humuzp/2013/03/Fertilizantes-y-abonos.pdf>
- Rosas, G., Muñoz, J., & Suárez, J. (2016). Incidencia de sistemas agroforestales con *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg. sobre propiedades físicas de suelos de lomerío en el departamento de Caquetá, Colombia. *Acta Agronómica*, 65(2), 116-122. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n2.45173>
- Santos, I., Vasconcelos, S., Kato, O., Bispo, C., & Silva, A. (2011). *Dinâmica de amônio e nitrato no solo em sistemas agroflorestais sob cultivo de dendezeiro na Amazônia oriental*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/50990/1/BIII-267.pdf>
- Silveira, M., & Moura, M. (2020), Chapter 3 - Maintaining soil fertility and health for sustainable pastures. In M. Rouquette & G. Aiken (Eds.), *Management strategies for sustainable cattle production in southern pastures* (pp. 35-58). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814474-9.00003-7>

-
- Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono para Colombia. (2017). *Noveno Boletín de Alertas Tempranas por Deforestación (AT-D). Cuarto trimestre 2016*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023696/BOLETIN%20DEFORRESTACION_9.pdf
- Torrijos, R., Sánchez, V., Beltrán, Y., & Eslava, F. (2016). *División sostenible de praderas - Pacto Caquetá*. Comité Departamental de Ganaderos del Caquetá. https://issuu.com/rafaeltorrijos/docs/cart_dsp