


Comportamiento agronómico del pasto insurgente bajo diferentes dosis de residuos sanguíneos líquidos y composición química del suelo



Marcello Hungria Rodrigues ^a

Clarice Backes ^a

Alessandro José Marques Santos ^a

Lucas Matheus Rodrigues ^a

Arthur Gabriel Teodoro ^b

Cinthyia Cristina Fernandes de Resende ^a

Adriana Aparecida Ribon ^a

Pedro Rogerio Giongo ^a

Patrick Bezerra Fernandes ^{c*}

Ana Beatriz Graciano da Costa ^d

^a Universidade Estadual de Goiás. Programa de Pós-graduação em Produção Animal e Forragicultura, São Luís de Montes Belos, Goiás, Brazil.

^b Universidade Federal de Goiás. Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Goiânia, Goiás, Brazil.

^c Instituto Federal Goiano. Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Rio Verde, Goiás Brazil.

^d Universidade Federal do Vale do São Francisco. Programa de Pós-graduação em Ciência Animal Petrolina, Pernambuco, Brazil.

* Autor de correspondencia: bezerrazpatrick@gmail.com

Resumen:

El objetivo fue evaluar el comportamiento agronómico y la composición química de suelos cultivados con pasto insurgente (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) sometido a dosis crecientes de residuos sanguíneos líquidos. El experimento siguió el diseño de bloques completamente al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Las siguientes dosis de residuos sanguíneos líquidos procesados se aplicaron para analizar el rendimiento del pasto insurgente: 0, 150, 300, 450 y 600 m³ ha⁻¹. Además, se utilizó en conjunto con la fertilización química a razón de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 100 kg ha⁻¹ de N (este tratamiento no se manejó con residuos sanguíneos líquidos). El rendimiento de forraje de pasto insurgente estuvo influenciado por la estrategia de fertilización ($P < 0.001$) – los valores más altos observados para esta variable se registraron bajo dosis de residuos sanguíneos de 450 m³ ha⁻¹ y 600 m³ ha⁻¹. La capa de suelo de 0.0 a 0.20 m afecta a la fracción de materia orgánica. Por otro lado, el contenido de fósforo (P) presentó diferencias entre las estrategias de fertilización; así, fue posible observar que la dosis de residuos de 450 m³ ha⁻¹ resultó en la mayor disponibilidad de nutrientes. La aplicación de residuos sanguíneos líquidos como fuente alternativa de fertilizantes orgánicos puede ser factible, ya que promueve un aumento significativo de la masa forrajera.

Palabras clave: Cerrado, Fertilización orgánica, Masa de forraje, Sustentabilidad, *Urochloa brizantha*.

Recibido: 15/07/2023

Aceptado: 01/11/2023

Introducción

Urochloa brizantha cv. Marandu (Sin. *Brachiaria brizantha* cv. Marandu), comúnmente conocida como pasto insurgente, es una especie forrajera ampliamente utilizada por el sector ganadero brasileño, ya que presenta un excelente potencial forrajero para la producción de carne y leche^(1,2,3). Sin embargo, el rendimiento de forraje en la región de la sabana brasileña, también conocida como Cerrado del Estado de Goiás, sufre desafíos relacionados con factores abióticos, principalmente con problemas de suelo, ya que estos suelos se caracterizan por su baja fertilidad natural, bajo contenido de nutrientes de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), así como por su baja capacidad de retención de agua debido a su bajo contenido de materia orgánica^(4,5).

Por ello es fundamental reponer los nutrientes a través de la fertilización química para paliar esta situación. No obstante, esta estrategia de reposición de nutrientes va en contra de la sustentabilidad de un sistema de producción agrícola. Por esta razón, actualmente, este tipo de fertilización debe considerarse lo menos posible. Sin embargo, las fuentes inorgánicas son bastante caras; además, la crisis global provocada por el

escenario pandémico, asociada a las guerras en curso, puede perjudicar la seguridad alimentaria y la viabilidad económica del sistema productivo⁽⁶⁾.

El uso de fuentes orgánicas puede ser una alternativa a los problemas antes mencionados, ya que puede proporcionar nutrientes esenciales para el buen desarrollo de las plantas; Oliveira *et al*⁽⁷⁾ observaron que los residuos sanguíneos líquidos de los rastros presentan los nutrientes esenciales para las plantas en su composición química (p. ej., P, K, Ca, Mg y S). Adicionalmente, estos autores también observaron que el uso de este tipo de residuo como fuente de P en el cultivo de girasol (*Helianthus annuus* L.) condujo a un buen desarrollo morfológico de la planta.

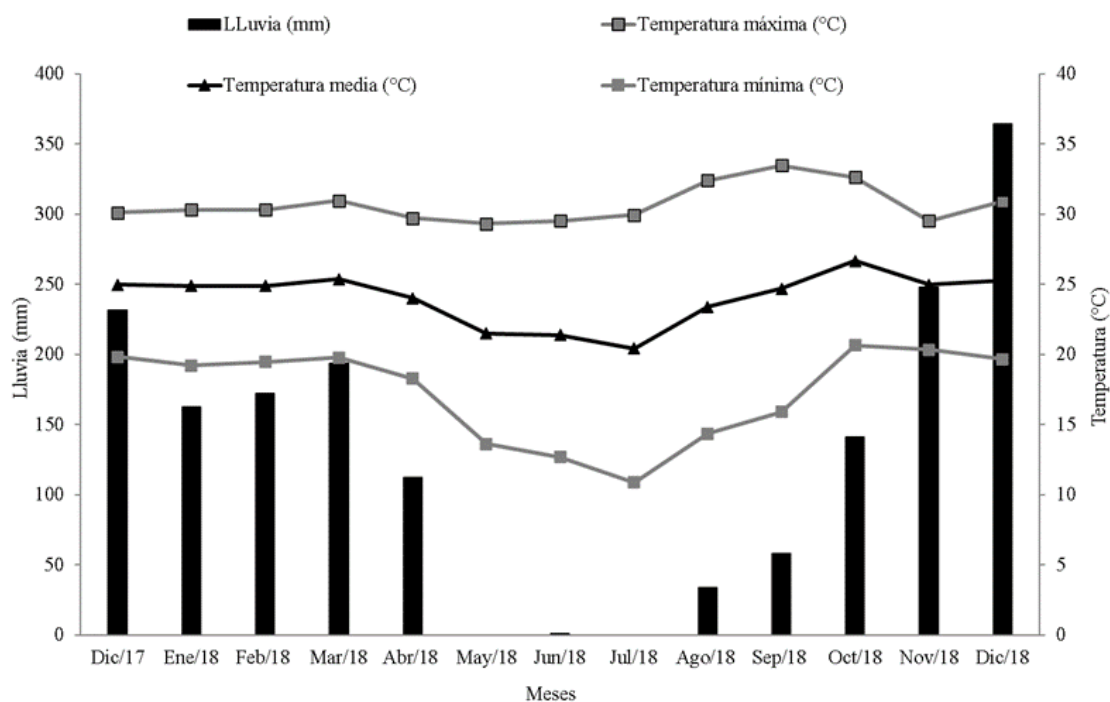
Además, es posible sugerir la siguiente hipótesis: mediante el uso de residuos sanguíneos líquidos como fuente alternativa de N y P en praderas de pasto insurgente cultivado en el Cerrado brasileño, es posible aumentar la disponibilidad de masa forrajera y mejorar la composición química del suelo. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento agronómico del pasto insurgente y las propiedades químicas del suelo cultivado con pasto insurgente, sometido a dosis crecientes de residuos sanguíneos líquidos.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

El experimento se instaló en un sitio de la estación de tratamiento de aguas de alcantarillado (ETE, por sus siglas en portugués) de SANEAGO (*Saneamento de Goiás*), en el municipio de São Luís dos Montes Belos, estado de Goiás (coordenadas 16° 32' 30" S, 50° 25' 21" O; y altitud: 535 m). El experimento comenzó en diciembre de 2017 y concluyó en diciembre de 2018. Esta región se caracteriza por un clima Aw, según la clasificación de Köppen, con una temperatura media de 23.5 °C, que oscila entre 20.7 °C (junio) y 25.0 °C (diciembre), y una precipitación media anual de 1,785 mm – el 87 % de ella se concentra entre octubre y marzo, pero hay 4 meses de escasez de agua cada año, en promedio⁽⁸⁾. Los datos de temperatura y precipitación registrados durante el experimento se muestran en la Figura 1.

Figura 1: Temperatura máxima, media y mínima, y tasas de precipitación mensual de diciembre de 2017 a diciembre de 2018, en el sitio de estudio - Municipio de São Luís de Montes Belos



Diseño experimental

El sitio de estudio se cercó adecuadamente y el pasto se cortó a una altura de 25 cm para fines de aplicación de los tratamientos. Después de cortarlo, se colocaron parcelas de 16 m² (4 x 4 m) con pasillos de 1 m entre ellas.

El experimento siguió el diseño de bloques completamente al azar, con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en dosis de 0 m³ ha⁻¹ (tratamiento control, sin el uso de ninguna fuente de P y N), 150 m³ ha⁻¹ (equivalente a 39.60 kg ha⁻¹ de N y 27.10 kg ha⁻¹ de P₂O₅), 300 m³ ha⁻¹ (equivalente a 79.30 kg ha⁻¹ de N y 54.10 kg ha⁻¹ de P₂O₅), 450 m³ ha⁻¹ (equivalentes a 118.90 kg ha⁻¹ de N y 81.20 kg ha⁻¹ de P₂O₅), y 600 m³ ha⁻¹ (equivalentes a 158.60 kg ha⁻¹ de N y 108.20 kg ha⁻¹ de P₂O₅) de residuos líquidos de procesamiento de sangre obtenidos de rastros de ganado, como fuente de N y P. Adicionalmente, se utilizó en conjunto con fertilización química (FQ) a razón de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 100 kg ha⁻¹ de N, de acuerdo con las necesidades del cultivo y el análisis de suelo⁽⁹⁾. El tratamiento con FQ no recibió ninguna dosis de residuos líquidos.

Composición física del suelo y fertilización

La pradera de pasto insurgente (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) se sembró hace aproximadamente 15 años, y no fue sometida a manejo de fertilización. Antes de implementar el experimento, se evaluaron las propiedades químicas y físicas del suelo con base en muestras recolectadas de la capa de suelo de 0.0 a 0.20 m. Posteriormente, se recolectó una muestra compuesta y se envió al laboratorio para su análisis, con base en el método descrito por Raij *et al*⁽¹⁰⁾. El suelo se clasificó como Latosol Rojo Eutrófico⁽¹¹⁾; su textura fue arcillosa con 360, 250 y 390 g kg⁻¹ de arena, limo y arcilla, respectivamente; la composición química fue de 5.1 de acidez activa (pH en CaCl₂); 23.00 g kg⁻¹ de materia orgánica (MO); 100 mg de md⁻³ de fósforo (P en Mehlich I); 2.80 cmol_c dm⁻³ de acidez potencial (H+Al); 0.400 cmol_c dm⁻³ de K; 2.50 cmol_c dm⁻³ de Ca; 0.700 cmol_c dm⁻³ de Mg; 56 % de saturación de bases (V%).

El tratamiento con FQ comprendió 100 kg ha⁻¹ de N y 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ derivados de urea y superfosfato triple, respectivamente. No se aplicó K₂O porque no era necesario, según el análisis de suelo. P se aplicó después del establecimiento de las parcelas y la fertilización con N se dividió en dos aplicaciones: la primera aplicación se realizó en diciembre de 2017 junto con P y la segunda se realizó en enero de 2018.

Fertilizante orgánico: residuos sanguíneos

El tipo de residuo aquí utilizado proviene del procesamiento de sangre bovina realizado por una empresa ubicada en el municipio de São Luís de Montes Belos, estado de Goiás. La sangre se envía a esta empresa en camiones cisterna desde varios rastros de la región. Una vez recibido, la separación física del plasma y los glóbulos rojos se lleva a cabo en una centrífuga de alta rotación. A continuación, tanto los glóbulos rojos como el plasma se someten a un proceso de secado para ser utilizados en fracciones de piensos para animales pequeños o en productos para la industria farmacéutica. Los residuos líquidos resultantes de este proceso son tratados para su correcta eliminación. Los residuos aquí utilizados presentaron la siguiente composición: Acidez (pH) de 7.41; nitrógeno amoniacal (NH₄⁺) de 264.30 mg L⁻¹; P₂O₅ de 180.40 mg L⁻¹. El 15 de diciembre de 2017 se aplicó el residuo de forma manual, de una sola vez, con la ayuda de cubetas, de acuerdo con cada tratamiento.

Evaluación del dosel forrajero

Se aplicó la base temporal de 40 días, es decir, cinco días más que la base temporal sugerida por Costa y Queiroz⁽¹²⁾ – se hizo porque la defoliación fue mecánica, en lugar de realizarse a través del pastoreo convencional. Cada vez que las plantas sometidas a este tratamiento no alcanzaron la altura de entrada dentro de los 40 días, se utilizó como base la altura de la planta (30 cm). Las evaluaciones se realizaron el 25 de enero de

2018; 07 de marzo de 2018; 05 de julio de 2018 y el 25 de noviembre de 2018 (40 días después del inicio de la temporada de lluvias).

Se cuantificó la altura del dosel forrajero (AD, cm), la densidad poblacional de macollos (DPM, m²), la materia seca de forraje (MS, Mg ha⁻¹) y el rendimiento de materia seca de forraje (MSF, Mg ha⁻¹) (suma de todos los cortes) para la caracterización del dosel forrajero.

La altura del dosel se midió en cada parcela con la ayuda de una regla, en cinco puntos diferentes; el nivel del suelo se midió hasta el nivel medio de la curva de las láminas de las hojas superiores completamente expandidas. La DPM se determinó contando los tres puntos de la unidad experimental con la ayuda de un marco de hierro (0.25 x 0.25 cm de dimensión).

El rendimiento se midió a través de la MS utilizando un marco metálico (1x1 m de dimensión), apoyado a 0.25 m de la superficie del suelo. Este equipo se colocó aleatoriamente en la parcela y todo el forraje dentro de él, a una altura ≥ 0.25 m, se recolectó y cuantificó, se separó una muestra fresca de 300 g para la determinación de materia seca en horno de circulación de aire forzado a 65 °C hasta alcanzar peso constante. Se recolectaron hojas del pasto (las dos recientemente expandidas del macollo) para encontrar contenidos foliares de N (g kg⁻¹), P (g kg⁻¹), K (g kg⁻¹), Ca (g kg⁻¹), Mg (g kg⁻¹), S (g kg⁻¹), Cu (mg kg⁻¹), Fe (mg kg⁻¹), Mn (mg kg⁻¹) y Zn (mg kg⁻¹). Para ello, 10 plantas representativas se recolectaron aleatoriamente en la parcela y se seleccionaron; lo que dio un total de 20 hojas. Posteriormente, se lavaron en agua corriente, luego se lavaron en agua desionizada, se secaron en horno de circulación de aire forzado a 65 °C durante 72 h y se molieron en molino tipo Willey⁽¹³⁾.

Composición química del suelo

Al final del ciclo de evaluación, en septiembre de 2018, muestras compuestas formadas por cinco muestras simples resultantes de puntos aleatorios en cada parcela se prepararon con la ayuda de una sonda de tipo metálico de las capas 0.00-0.20 y 0.20-0.40 m para observar los probables cambios químicos en el suelo causados por la aplicación de los residuos.

El suelo fue tamizado después de su recolección e identificación, y se analizaron las siguientes características: MO (g kg⁻¹), pH (CaCl₂), H+Al (cmol_c dm⁻³), CIC (cmol_c dm⁻³), P (mg dm⁻³), K (mg dm⁻³), Ca (cmol_c dm⁻³), Mg (cmol_c dm⁻³), S (mg dm⁻³), Na (mg dm⁻³), B (mg dm⁻³), Cu (mg dm⁻³), Fe (mg dm⁻³), Mn (mg dm⁻³) y Zn (mg dm⁻³), de acuerdo con la metodología descrita por Teixeira *et al*⁽¹⁴⁾.

Análisis estadístico

La información relacionada con la pradera se sometió a un modelo de parcelas divididas en el tiempo:

$y_{ijk} = \mu + E_i + B_j + \varepsilon_{ij} + C_k + T_i * C_k + \varepsilon_{ijk}$; donde,

y_{ijk} : valor observado;

μ : constante general;

T_i : efecto de los tratamientos ($i = 0, 150, 300, 450, 600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y FQ);

B_j : efecto del bloque ($j = I, II, III$ y IV);

C_k : efecto de los cortes ($k = 1.^\circ, 2.^\circ, 3.^\circ$ y $4.^\circ$);

ε_{ij} : residuos a nivel de parcela;

$T_i * C_k$: efecto de la interacción;

ε_{ijk} : residuos experimentales.

Una vez finalizado este procedimiento, se aplicó la prueba de medias de Tukey con un nivel de probabilidad del 5 %.

Los datos relacionados con las dosis de residuos sanguíneos y la fertilización química se analizaron a través del modelo de diseño de bloques al azar:

$Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + \varepsilon_{ijk}$; donde,

Y_{ijk} : valor observado;

μ : constante general;

T_i : efecto de los tratamientos ($i = 0, 150, 300, 450, 600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y FQ);

B_j : efecto del bloque ($j = I, II, III$ y IV);

ε_{ijk} : error aleatorio asociado a cada valor observado.

Después de finalizar el procedimiento antes mencionado, se aplicó la prueba de medias de Tukey a un nivel de probabilidad del 5 %, cuando correspondía, al nivel de significancia del 5 %.

Las dosis de residuos se sometieron a un análisis de regresión de primer ($Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 * X + \varepsilon_{ij}$) y de segundo grado ($Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 * X + \beta_2 * X^2 + \varepsilon_{ij}$); se eligió el modelo que presentó un efecto con significancia del 5 % y el coeficiente de determinación más alto ($R^2 \geq 70 \%$). Los análisis de varianza y regresión se realizaron en el software R, versión 4.2.1.

Resultados

Estructura del dosel forrajero

La AD del forraje de pasto insurgente presentó una interacción significativa entre los residuos sanguíneos y el corte ($P<0.001$); así, en el primer y segundo corte, los mayores valores de AD se obtuvieron cuando se utilizaron dosis de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Los valores más altos de AD bajo dosis de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $450 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, y fertilización química, solo se registraron en el primer corte. Luego, el primer, segundo y tercer corte después de la dosis de $0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ resultaron en los valores más bajos de AD. El cuarto corte no mostró diferencias entre las estrategias de fertilización. Se registró una altura media de 21.55 cm para este cuarto corte (Cuadro 1).

Si solo se tienen en cuenta las dosis de residuos sanguíneos, el primer corte generó una ecuación de segundo grado; de esta forma, el uso de $144 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de residuos líquidos condujo a una altura de 47.81 cm. Las dosis se ajustaron a la ecuación de primer grado en el segundo y tercer corte; por lo tanto, con base en los parámetros de la pendiente, fue posible inferir que una mayor oferta de residuos líquidos incrementa la altura del dosel forrajero (Cuadro 1).

Fue posible observar el efecto de la interacción entre la estrategia de fertilización y los cortes ($P=0.002$) en la DPM; así, la FQ después de la dosis de $0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, en el primer corte, condujo a los valores más bajos. Las dosis de 300, 450 y $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ tuvieron impacto en el incremento de la DPM en el segundo corte, respectivamente. La dosis de $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ presentó la DPM más alta en el tercer corte. El cuarto corte no mostró diferencias entre las estrategias de fertilización; se registró un valor medio de $437 \text{ macollos m}^{-2}$ para el dosel de pasto insurgente en este cuarto corte (Cuadro 1).

Las dosis de residuos sanguíneos en el primer corte condujeron a una ecuación cuadrática; así, se midieron $759 \text{ macollos m}^{-2}$ cuando se aplicaron $590 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de fertilizante orgánico. El segundo corte alcanzó una ecuación de primer grado con pendiente positiva; de esta forma, el aumento de las dosis de fertilización orgánica tuvo un impacto en el aumento de la DPM del pasto insurgente. Las dosis no tuvieron ningún efecto en el tercer y cuarto corte (Cuadro 1).

La MS se vio afectada por la interacción entre la estrategia de fertilización y los cortes ($P<0.001$); de esta forma, la dosis de $450 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de residuos sanguíneos generó los valores más altos de masa de forraje en el primer corte. La dosis de $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ condujo a los valores más altos de MS en el cuarto corte. Las dosis de residuos sanguíneos en el primer y cuarto corte fueron las que presentaron ajuste a la ecuación cuadrática; así, las dosis de $417 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de fertilizante orgánico condujeron a un rendimiento de MS de 5.42 Mg ha^{-1} y 6.22 Mg ha^{-1} , respectivamente (Cuadro 1).

El rendimiento de forraje de pasto insurgente estuvo influenciado por las estrategias de fertilización ($P<0.001$), los valores más altos de rendimiento de forraje se registraron en las dosis de residuos sanguíneos de $450 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Si solo se tienen en cuenta las dosis de residuos, es posible observar el mejor ajuste a la ecuación cuadrática bajo la dosis de $583 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de residuos sanguíneos para obtener 14.77 Mg ha^{-1} (Cuadro 1).

Contenido de nutrientes en las láminas de las hojas del pasto insurgente

Hubo efecto de los residuos sanguíneos sobre el contenido foliar de N ($P<0.001$) y P ($P= 0.013$) a la dosis de $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, lo que condujo a los valores más altos de N. La fertilización también afectó la concentración de K ($P= 0.015$), S ($P<0.001$), Fe ($P= 0.001$) y Mn ($P<0.001$); los valores más altos registrados para estos elementos se registraron en las dosis de $450 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Cuadro 2).

El contenido de Ca en la hoja se vio afectado por las estrategias de fertilización ($P=0.002$), donde las mayores concentraciones se observaron en las dosis de $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. El Mg también fue influenciado por los tratamientos ensayados ($P=0.019$), registrándose las mayores concentraciones en la dosis de $450 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. El cobre (Cu) no fue influenciado por las estrategias de fertilización ($P=0.05$); se registró un valor medio de cobre de 9.25 g kg^{-1} (Cuadro 2).

Los contenidos de N, P, Ca, Mg, S, Fe, Mn y Zn en las láminas foliares se vieron afectados por las dosis de residuos sanguíneos; fue posible observar su mejor ajuste a las ecuaciones de primer grado. Por ello, cuanto mayor sea la dosis de residuos, mayor será la concentración foliar de estos elementos (Cuadro 2).

Composición química del suelo en la capa de 0.00 -0.20 m

La capa de 0.00 -0.20 m no mostró ningún efecto de las estrategias de fertilización ($P>0.05$) sobre MO, pH, K, Mg, S, Na, B, Cu y Mn. Así, se registraron los siguientes valores medios: 32.17 g kg^{-1} , 5.05 CaCl_2 , $127.17 \text{ mg dm}^{-3}$, $0.713 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, 3.63 mg dm^{-3} , 2.04 mg dm^{-3} , 0.204 mg dm^{-3} , 1.25 mg dm^{-3} y 54.58 mg dm^{-3} , respectivamente (Cuadro 3).

Las estrategias de fertilización influyeron en la CIC ($P=0.013$), Ca ($P<0.001$) y Fe ($P<0.001$); la dosis de $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ condujo a las medias más altas de CIC. La fertilización también afectó a H+Al ($P= 0.039$); la dosis $0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ produjo el valor medio más bajo de H+Al. El contenido de fósforo (P) presenta diferencia entre las estrategias de fertilización ($P=0.001$); así, la dosis de $450 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ registró la mayor disponibilidad de este nutriente. La fertilización química condujo a los valores más bajos de Zn ($P=0.006$) (Cuadro 3).

Las dosis de residuos sanguíneos produjeron el mejor ajuste a las ecuaciones de segundo grado cuando se trata de P, Ca y Fe, por lo tanto, las dosis de 400 m³ ha⁻¹, 500 m³ ha⁻¹ y 575 m³ ha⁻¹ generaron contenidos de 2.32 mg dm⁻³, 2.37 cmol_c dm⁻³ y 33.46 mg dm⁻³ de estos elementos, respectivamente (Cuadro 3).

Composición química del suelo en la capa de 0.20 -0.40 m

La capa de suelo de 0.20 - 0.40 m no mostró ningún efecto de la estrategia de fertilización ($P>0.05$) sobre MO, pH, P, K, Ca, Mg, S, Na, B, Cu, Mn y Zn. Así, fue posible alcanzar valores medios de 22.69 g kg⁻¹, 5.19 en CaCl₂, 1.18 mg dm⁻³, 85.39 mg dm⁻³, 2.00 cmol_c dm⁻³, 0.708 cmol_c dm⁻³, 3.67 mg dm⁻³, 2.04 mg dm⁻³, 0.200 mg dm⁻³, 1.25 mg dm⁻³, 36.13 mg dm⁻³ y 0.492 mg dm⁻³ para estos elementos, respectivamente (Cuadro 3).

Las estrategias de fertilización influyeron en la CIC ($P=0.049$) y H+Al ($P<0.001$); sus valores se incrementaron a la dosis de 600 m³ ha⁻¹. Los mayores contenidos de Fe ($P=0.003$) se observaron a las dosis de 450 m³ ha⁻¹ y 600 m³ ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 3).

Las dosis de residuos sanguíneos influyeron en H+Al y Fe, ya que mostraron el mejor ajuste a las ecuaciones de primer grado; por lo tanto, la tasa de acidez potencial y minerales que pueden ser tóxicos en las plantas en la capa del suelo de 0.20 a 0.40 m aumentó, ya que la fuente orgánica también aumentó (Cuadro 3).

Discusión

Estructura del dosel forrajero

La AD recomendada para praderas de pasto insurgente es de 30-45 cm, ya que es la mejor altura para maximizar la disponibilidad de masa forrajera; valores más altos de AD indican una acumulación indeseable de componentes morfológicos que pueden comprometer la composición química del dosel forrajero, como el pseudotallo (tallo + vaina) y el material muerto^(15,16). La dosis de 150 m³ ha⁻¹ de abono orgánico induce al dosel de pasto insurgente a alcanzar alturas que cumplan con la recomendación de manejo. Sin embargo, el uso de esta dosis no promueve la máxima disponibilidad potencial de masa forrajera.

Por otro lado, la DPM mostró los valores más altos a las dosis más altas de residuos sanguíneos, en consecuencia, los valores más altos de MS y MSF se midieron en estas condiciones de manejo nutricional. Véras *et al*⁽¹⁷⁾ evaluaron cinco cultivares de *Urochloa* spp. (Basilisk, Marandu, BRS Paiaguás, Piatã, Xaraés), encontrando correlación moderada entre AD y MS; no obstante, la correlación entre MS y DPM fue más cercana porque varió de moderada a alta. Por lo que es necesario prestar mucha

atención a la dinámica de los macollos de la pradera en la aplicación de la fertilización orgánica, ya que esta característica es determinante para el rendimiento de la masa forrajera.

En el cuarto corte se observó que independientemente de la estrategia de fertilización utilizada, hubo proporcionalidad en la DPM. Esto ocurrió porque no hubo diferencias en los criterios de manejo (frecuencia de defoliación y altura de corte), lo que no alteró la dinámica de macollaje. Sin embargo, la adopción de diferentes estrategias de manejo puede llevar a fluctuaciones en la plasticidad fenotípica del dosel forrajero⁽¹⁸⁾.

Orrico *et al*⁽¹⁹⁾ cultivaron pasto matoso sometido a dosis crecientes de desechos de rastros avícolas y encontraron los valores más altos de masa de macollos y de forraje a dosis más altas de fertilizante orgánico. De acuerdo con los hallazgos, el alto contenido de N en el fertilizante orgánico aumenta el flujo de tejido en los macollos y permite que el dosel forrajero alcance el máximo potencial de rendimiento. Costa *et al*⁽²⁰⁾ evaluaron praderas de *Megathyrus maximus* cv. Massai (Sin. *Panicum maximum* cv. Massai) y observaron que el manejo de la fertilización basado en el uso de otra fuente de biofertilizante (derivado de la porcicultura) aumentó la masa de forraje foliar en comparación con la fertilización mineral.

En este contexto, el uso de fertilizantes orgánicos derivados de rastros es muy recomendable como estrategia de fertilización primaria, ya que estos fertilizantes mejoran el comportamiento morfológico de los macollos y aumentan significativamente la producción de forraje. No obstante, para lograr estos resultados, es fundamental que el fertilizante suministrado al suelo contenga los nutrientes necesarios para optimizar la producción de las plantas⁽²¹⁾.

Contenido de nutrientes en las láminas de las hojas del pasto insurgente

Las dosis crecientes de residuos líquidos (0 m³ ha⁻¹, 150 m³ ha⁻¹, 300 m³ ha⁻¹, 450 m³ ha⁻¹, 600 m³ ha⁻¹) condujeron a un aumento significativo de las fracciones de N, P, Ca, Mg, S y Fe en las láminas foliares de pasto insurgente. De acuerdo con Tomazello *et al*⁽²²⁾ y Rezende *et al*⁽²³⁾, el aporte adecuado de nutrientes mejora la acumulación de N, P, Ca, S y Mg en la parte aérea de las gramíneas tropicales manejadas en regiones de sabana. Además, mejora el valor nutricional del forraje producido. El suministro de fuentes de nitrógeno (orgánico o mineral) al pasto insurgente favorece su eficiencia de uso y acumulación de P, K, Ca y S, respectivamente.

Existe un factor específico sobre la acumulación de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn), a saber: los suelos que presentan un valor de pH inferior a 6.0 muestran una mayor disponibilidad de micronutrientes para las plantas; por otro lado, si la acidez del suelo aumenta, se observa un aumento no deseado de Fe en el mismo, y este proceso puede

ser tóxico en las plantas. Sin embargo, los suelos del Cerrado brasileño suelen presentar altos contenidos de Fe^(24,25,26); por lo tanto, es necesario evaluar a menudo los niveles de acidez del suelo para evitar complicaciones capaces de perjudicar el máximo rendimiento agronómico del dosel forrajero.

Composición química del suelo en las capas de 0.0 – 0.20 m y 0.20 – 0.40 m

Las dosis de residuos líquidos y la fertilización mineral en la capa de 0-0.20 m no influyeron en MO, Mg, S, Na, B, Cu, Mn y Zn. Por otro lado, las dosis más altas de residuos líquidos condujeron a un aumento de CIC y del contenido de Ca (Cuadro 3). De acuerdo con Caovilla *et al*⁽²⁷⁾, el aumento del contenido catiónico forma la base de la suma, al igual que ocurre con el Ca; este proceso aumenta la CIC del suelo. Sin embargo, el pH ácido del suelo compromete la disponibilidad de otros cationes. Por ello, es posible sugerir que el uso continuo de residuos líquidos puede cambiar la fracción catiónica en el suelo. No obstante, es necesario asociarlo al manejo del encalado para lograr la disponibilidad de nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas.

Para realizar cambios en la composición química del suelo en regiones de clima tropical, principalmente en sus capas más profundas (0.20 – 0.40 m), es necesaria la aplicación continua de fertilizantes orgánicos, ya que no es posible alcanzar el aumento deseado de las fracciones de MO y P en el corto plazo⁽²⁸⁾. Sin embargo, la adición de cationes puede cambiar la suma de bases en el suelo; por lo tanto, es esencial llevar a cabo investigaciones a largo plazo para analizar el efecto de los residuos sanguíneos en el rendimiento de los pastos en las regiones tropicales.

Consideraciones sobre el uso de residuos líquidos de rastros en la producción primaria

A pesar de ser considerado un material potencialmente contaminante, cuando se usa juiciosamente, los residuos sanguíneos líquidos demuestran ser una fuente rica en nutrientes, junto con una abundancia de poblaciones microbianas beneficiosas para el suelo, como lo observaron Bhunia *et al*⁽²⁹⁾. En la agricultura, este factor tiene un impacto significativo en el aumento de la producción primaria. En el caso específico del pasto insurgente Marandu, los resultados demostraron que, en un corto período de tiempo, hubo un aumento considerable en la disponibilidad de forraje, lo que indica que las praderas alcanzaron su máximo potencial productivo cuando se utiliza el residuo líquido como fuente de P y N.

Otro punto relevante para considerar en la exploración de fuentes alternativas de fertilizantes orgánicos son los conflictos geopolíticos asociados a las crisis sanitarias⁽⁶⁾, ya que estos conflictos han llevado a aumentos sustanciales en los precios de los

fertilizantes químicos, aumentando los riesgos para la seguridad alimentaria. Por ello, la sustitución parcial o total de fertilizantes químicos por alternativas orgánicas puede resultar en una reducción significativa de los costos de producción, haciendo que la producción primaria sea menos onerosa^(22,30).

Conclusiones e implicaciones

Para maximizar la disponibilidad de masa forrajera de pasto insurgente Marandu producido en el Cerrado brasileño, se pueden emplear dosis que van desde 450 m³ ha⁻¹ hasta 600 m³ ha⁻¹ de residuos sanguíneos. No obstante, en cuanto a la composición química del suelo, solo la dosis de 450 m³ ha⁻¹ resulta en aumentos significativos en el contenido de fósforo en la capa de 0.00-0.20 m.

Agradecimientos

Agradecemos a la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) (Código Financiero 001) y a la Universidade Estadual de Goiás por su apoyo financiero. Notice/Call No. 21/2022, Grant No. 000036041850.

Literatura citada:

1. Demski JB, Arcaro Junior I, Gimenes FMA, Toledo LM, Miranda MS, Giacomini AA, *et al.* Milk production and ingestive behavior of cows grazing on Marandu and Mulato II pastures under rotational stocking. *Rev Bras Zootec* 2019;48: e20180231.
2. Gurgel ALC, Difante GS, Emerenciano Neto JV, Costa MG, Dantas JLS, Ítavo LCV, *et al.* Supplementation of lamb ewes with different protein sources in deferred marandu palisadegrass (*Brachiaria brizantha* cv. marandu) pasture. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2020;72:1901-1910.
3. Ferrari AC, Leite RG, Fonseca NV, Romanzini EP, Cardoso ADS, Barbero RP, *et al.* Performance, nutrient use, and methanogenesis of Nellore cattle on a continuous grazing system of *Urochloa brizantha* and fed supplement types varying on protein and energy sources. *Livest Sci* 2020;253: 104716.
4. Hunke P, Mueller EN, Schröder B, Zeilhofer P. The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. *Ecohydrology* 2015;8: 1154-1180.
5. Beck MH, Escosteguy PA, Dick DP. Modifications of phosphorus in Latosol as a function of humic acids and acidity. *Rev Bras Eng Agrí Ambi* 2018;22:488-492.
6. Allam Z, Bibri SE, Sharpe SA. The rising impacts of the COVID-19 pandemic and the Russia-Ukraine war: Energy transition, climate justice, global inequality, and supply chain disruption. *Resources* 2022;11:99.

7. Oliveira LQ, Taveira JHS, Fernandes PB, Backes C, Costa CM, Santos AJM, *et al.* Use of blood residue as alternative source of phosphorus in sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivation. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2022;74: 153-159.
8. Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol Z* 2014;22:711-728.
9. Martha Júnior GB, Vilelam L, Sousa DMG. Cerrado: Uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados 2007;224.
10. Raij BV, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA. Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: IAC; FUNDAG 2001.
11. Santos HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumbreira JF, Coelho MR, *et al.* Sistema brasileiro de classificação de solos. 5ed. Brasília: Embrapa CNPS 2018.
12. Costa JAAH, Queiroz P. Régua de manejo de pastagens - edição revisada. Comunicado Técnico 135, Campo Grande, 2017.
13. Carmo CAFS, Araújo WS, Bernardi ACC, Saldanha MFC. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos 2000; 41.
14. Teixeira PC, Donagemma GK, Fontana A, Teixeira WG. Manual de métodos de análise de Solo. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa 2017.
15. Euclides VPB, Montagner DB, Macedo MCM, Araujo AR, Difante GS, Barbosa RA. Grazing intensity affects forage accumulation and persistence of *Marandu palisadegrass* in the Brazilian savannah. *Grass Forage Sci* 2019;74:450-462.
16. Antunes LE, Montagner DB, Euclides VPB, Taira CDAQ, Echeverria JR, Nantes NN. Intermittent stocking strategies for the management of *Marandu palisade* grass in the Brazilian Cerrado biome. *Grassl Sci* 2021;68:70-77.
17. Vêras ELL, Difante GS, Gurgel ALC, Costa CM, Emerenciano Neto JV, Rodrigues JG, *et al.* Tillering capacity of *Brachiaria* cultivars in the Brazilian Semi-arid region during the dry season. *Trop Anim Sci J* 2020;43(2):133-140.
18. Silva S, Chiavegato M, Pena K, Silveira M, Barbero L, Júnior S, Rodrigues C, Limão V, Pereira L. Tillering dynamics of Mulato grass subjected to strategies of rotational grazing management. *J Agric Sci* 2017;155:1082 - 1092.
19. Orrico Júnior MAP, Centurion SR, Sunada NS, Vargas Júnior FM. Características morfogênicas do capim-piatã submetido à adubação com efluentes de abatedouro avícola. *Ciência Rural* 2013;43:158-163.

20. Costa JE, Soares LE, Sousa VFD, Costa ABG, Emerenciano Neto JV, Oliveira EMM, *et al.* Sward structure, morphological components and forage yield of massai grass in response to residual effect of swine biofertilizer. *Acta Sci. Anim Sci* 2022;44:e53792.
21. Pereg L, Morugán-Coronado A, McMillan M, García-Orenes, F. Restoration of nitrogen cycling community in grapevine soil by a decade of organic fertilization. *Soil Tillage Res* 2018;179:11-19.
22. Tomazello DA, Melo EMF, Santos AJM, Backes C, Teodoro AG, Fernandes PB, *et al.* Agronomic performance and soil chemical composition when using poultry litter as organic fertilizer in Mombasa Guinea grass production. *NZ J Agric Res* 2023;66: 1-15.
23. Rezende PR, Rodrigues LM, Backes C, Santos AJM, Fernandes PB, Giongo PR, *et al.* Productivity and nutrient extraction by *Paiaguás palisadegrass* submitted to doses of nitrogen in single cultivation and intercropped with pigeon pea. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2022;74: 1151-1160.
24. Li KW, Lu HL, Nkoh JN, Hong ZN, Xu RK. Aluminum mobilization as influenced by soil organic matter during soil and mineral acidification: A constant pH study. *Geoderma* 2022;418:115853.
25. Osafo NOA, Jan J, Porcal P, Borovec J. Contrasting catchment soil pH and Fe concentrations influence DOM distribution and nutrient dynamics in freshwater systems. *Sci Total Environ* 2023;858:159988.
26. Zhao WR, Shi RY, Hong ZN, Xu RK. Critical values of soil solution Al³⁺ activity and pH for canola and maize cultivation in two acidic soils. *J Sci Food Agric* 2022;102:6984-6991.
27. Caovilla FA, Sampaio SC, Smanhotto A, Nóbrega LHP, Queiroz MF, Gomes BM. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura. *Rev Bras Eng Agrí Amb* 2010;14:692-697.
28. Rigo AZ, Corrêa JC, Mafra ÁL, Hentz P, Grohskopf MA, Gatiboni LC, *et al.* Phosphorus fractions in soil with organic and mineral fertilization in integrated crop-livestock system. *Rev Bras Ciênc Solo* 2019;43:e0180130.
29. Bhunia S, Bhowmik A, Mallick R, Debsarcar A, Mukherjee J. Application of recycled slaughterhouse wastes as an organic fertilizer for successive cultivations of bell pepper and amaranth. *Sci Hortic* 2021;280:109927.
30. Silva WV, Taveira JHS, Fernandes PB, Silva PC, Costa ABG, Costa Cm, Giongo PR, Corioletti NSD, Gurgel ALC. Organic and mineral fertilization on the agronomic performance of sunflower cultivars and soil chemical attributes. *Rev Bras Eng Agrí Amb* 2023;12:927-933.

Cuadro 1: Caracterización del dosel forrajero de pasto insurgente con base en diferentes estrategias de fertilización asociadas con intervalos entre cortes

Corte	Estrategia de fertilización						Ecuación	R ²
	0 m ³ ha ⁻¹	150 m ³ ha ⁻¹	300 m ³ ha ⁻¹	450 m ³ ha ⁻¹	600 m ³ ha ⁻¹	FQ kg ha ⁻¹		
----- AD (cm) -----								
1.º	28.75 ^{Bd}	57.80 ^{Ab}	92.45 ^{Aa}	89.00 ^{Aa}	87.90 ^{Aa}	44.85 ^{Ac}	$y = 27.22 + 0.287x - 0.001x^2$	0.966
2.º	43.75 ^{Ad}	52.10 ^{AcD}	68.40 ^{Bb}	66.50 ^{Bb}	87.60 ^{Aa}	55.25 ^{Bc}	$y = 43.25 + 0.068x$	0.919
3.º	27.75 ^{Bc}	32.70 ^{Bc}	36.00 ^{Cbc}	42.00 ^{Cb}	50.30 ^{Ba}	29.95 ^{Cc}	$y = 26.87 + 0.036x$	0.973
4.º	19.20 ^{Ca}	21.25 ^{Ca}	22.37 ^{Da}	22.90 ^{Da}	23.40 ^{Ca}	20.15 ^{Da}	$y = 19.81$	-
EEM	2.46							
----- DPM (m ²) -----								
1.º	625 ^{ABb}	625 ^{Aab}	696 ^{Aa}	754 ^{Aa}	675 ^{Aa}	676 ^{Aa}	$y = 410.52 + 1.18x - 0.002x^2$	0.976
2.º	610 ^{Ab}	533 ^{ABb}	794 ^{Aa}	814 ^{Aa}	802 ^{Aa}	785 ^{Aa}	$y = 577.50 + 0.444x$	0.654
3.º	488 ^{ABa}	488 ^{Ba}	526 ^{Ba}	573 ^{Ba}	516 ^{Ba}	489 ^{Ba}	$y = 490.10$	-
4.º	421 ^{Ba}	427 ^{Ba}	432 ^{Ba}	435 ^{Ba}	441 ^{Ba}	463 ^{Ba}	$y = 421.45$	-
EEM	15.13							
----- MS (Mg ha ⁻¹) -----								
1.º	0.386 ^{Ce}	2.99 ^{Bc}	5.63 ^{Aab}	5.99 ^{Aa}	5.16 ^{Bb}	2.14 ^{Bd}	$y = 0.2145 + 0.025x - 0.00003x^2$	0.985
2.º	1.55 ^{Bd}	2.60 ^{Bc}	2.82 ^{Cc}	3.69 ^{Cb}	4.49 ^{Ca}	3.66 ^{Ab}	$y = 1.63 + 0.005x$	0.974
3.º	0.00 ^{Db}	0.185 ^{Cb}	1.22 ^{Da}	1.65 ^{Da}	1.73 ^{Da}	1.28 ^{Cb}	$y = -0.028 + 0.003x$	0.911
4.º	2.64 ^{Ad}	3.78 ^{Ac}	3.85 ^{Bc}	4.71 ^{Bb}	6.21 ^{Aa}	3.28 ^{AcD}	$y = 4.97 + 0.005x - 0.000005$	0.950
EEM	0.189							
----- MSF (Mg ha ⁻¹) -----								
MSF	4.58 ^d	9.56 ^c	13.52 ^b	16.04 ^a	17.69 ^a	9.21 ^c	$y = 4.56 + 0.035x - 0.00003x^2$	0.999
EEM	0.936							

AD= altura del dosel; DPM= densidad poblacional de macollos; MS= materia seca; MSF= rendimiento de materia seca de forraje.

FQ= fertilización química con 80 kg ha⁻¹ P₂O₅; y= valor observado; x= dosis de residuos sanguíneos (0 m³ ha⁻¹, 150 m³ ha⁻¹, 300 m³ ha⁻¹, 450 m³ ha⁻¹, 600 m³ ha⁻¹). R²= coeficiente de determinación. EEM= error estándar de la media.

Las medias seguidas de la misma letra minúscula (fila) y letra mayúscula (columnas) no difieren entre sí al nivel de probabilidad del 5 %.

Cuadro 2: Contenido de nutrientes en las láminas de las hojas de pasto insurgente bajo diferentes estrategias de fertilización

Ítem	Estrategia de fertilización						EEM	Ecuación	R ²
	0 m ³ ha ⁻¹	150 m ³ ha ⁻¹	300 m ³ ha ⁻¹	450 m ³ ha ⁻¹	600 m ³ ha ⁻¹	FQ kg ha ⁻¹			
N, g kg ⁻¹	17.50 ^c	18.75 ^b	20.00 ^{ab}	20.00 ^{ab}	21.5 ^a	20.25 ^{ab}	0.310	y = 17.70 + 0.006x	0.945
P, g kg ⁻¹	1.75 ^b	1.80 ^b	1.90 ^{ab}	2.10 ^{ab}	2.35 ^a	1.85 ^{ab}	0.062	y = 1.68 + 0.001x	0.925
K, g kg ⁻¹	26.00 ^{ab}	24.70 ^{ab}	26.30 ^{ab}	27.80 ^a	27.55 ^a	23.20 ^b	0.473	y = 25.23	-
Ca, g kg ⁻¹	1.95 ^b	2.15 ^b	2.30 ^a	2.42 ^{ab}	2.95 ^a	1.82 ^b	0.095	y = 1.82 + 0.001x	0.935
Mg, g kg ⁻¹	1.10 ^b	1.17 ^{ab}	1.50 ^{ab}	1.60 ^a	1.57 ^{ab}	1.35 ^{ab}	0.053	y = 1.11 + 0.001	0.856
S, g kg ⁻¹	0.750 ^c	1.00 ^b	1.15 ^{ab}	1.45 ^a	1.42 ^a	0.875 ^{bc}	0.062	y = 0.795 + 0.001x	0.931
Cu, mg kg ⁻¹	9.00 ^a	9.25 ^a	10.75 ^a	8.25 ^a	9.00 ^a	9.25 ^a	0.590	y = 9.45	-
Fe, mg kg ⁻¹	88.75 ^b	91.75 ^b	102.00 ^{ab}	125.00 ^a	122.75 ^a	85.25 ^b	4.03	y = 85.80 + 0.067x	0.885
Mn, mg kg ⁻¹	41.25 ^c	58.00 ^{bc}	72.50 ^b	115.75 ^a	125.50 ^a	43.25 ^{bc}	7.36	y = 37.35 + 0.150x	0.955
Zn, mg kg ⁻¹	25.75 ^b	31.50 ^{ab}	35.75 ^a	34.75 ^{ab}	33.00 ^{ab}	26.00 ^b	1.14	y = 28.60 + 0.011x	0.509

FQ= fertilización química con 80 kg ha⁻¹ P₂O₅; y= valor observado; x= dosis de residuos sanguíneos (0 m³ ha⁻¹, 150 m³ ha⁻¹, 300 m³ ha⁻¹, 450 m³ ha⁻¹, 600 m³ ha⁻¹). N= nitrógeno; P= fósforo; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio; S= azufre; Cu= cobre; Fe= hierro; Mn= manganeso; Zn= zinc; R²: coeficiente de determinación; EEM: error estándar de la media.

Las medias seguidas de las mismas letras minúsculas en las filas no difirieron entre sí a un nivel de probabilidad del 5 %.

Cuadro 3: Composición química del suelo en las capas de 0.0 - 0.20 m y 0.20 - 0.40 m de suelo cultivado con pasto insurgente sometido a diferentes estrategias de fertilización

Ítem	Estrategia de fertilización						EEM	Ecuación	R ²
	0 m ³ ha ⁻¹	150 m ³ ha ⁻¹	300 m ³ ha ⁻¹	450 m ³ ha ⁻¹	600 m ³ ha ⁻¹	FQ kg ha ⁻¹			
	Capa 0.0-0.20 m								
MO, g kg ⁻¹	36.00 ^a	28.00 ^a	31.00 ^a	30.00 ^a	34.00 ^a	34.00 ^a	1.00	y = 32.20	-
pH, CaCl ₂	5.10 ^a	5.10 ^a	5.07 ^a	5.00 ^a	4.95 ^a	5.05 ^a	0.020	y = 5.12	-
CIC, cmol _c dm ⁻³	5.19 ^b	5.46 ^b	6.24 ^{ab}	6.42 ^{ab}	7.10 ^a	6.24 ^b	0.191	y = 5.13 + 0.003x	0,969
H+Al, cmol _c dm ⁻³	2.22 ^b	2.30 ^a	2.82 ^a	2.92 ^a	3.42 ^a	2.27 ^a	0.129	y = 2.13 + 0.002x	0.405
P, mg dm ⁻³	1.00 ^b	1.25 ^b	2.25 ^{ab}	3.25 ^a	2.00 ^{ab}	1.50 ^b	0.197	y = 0.721 + 0.008x - 0.00001x ²	0.706
K, mg dm ⁻³	153.50 ^a	113.50 ^a	130.00 ^a	124.00 ^a	129.00 ^a	113.00 ^a	5.63	y = 137.70	-
Ca, cmol _c dm ⁻³	1.87 ^d	2.17 ^c	2.42 ^{abc}	2.47 ^{ab}	2.57 ^a	2.20 ^{bc}	0.055	y = 1.87 + 0.002 - 0.000002x ²	0.989
Mg, cmol _c dm ⁻³	0.700 ^a	0.700 ^a	0.675 ^a	0.725 ^a	0.775 ^a	0.700 ^a	0.036	y = 0.680	-
S, mg dm ⁻³	3.75 ^a	3.75 ^a	3.50 ^a	3.75 ^a	3.50 ^a	3.50 ^a	0.157	y = 3.75	-
Na, mg dm ⁻³	1.75 ^a	2.50 ^a	2.25 ^a	1.50 ^a	2.75 ^a	1.50 ^a	0.164	y = 1.95	-
B, mg dm ⁻³	0.200 ^a	0.150 ^a	0.225 ^a	0.200 ^a	0.175 ^a	0.275 ^a	0.017	y = 0.176	-
Cu, mg dm ⁻³	1.10 ^a	1.20 ^a	1.27 ^a	1.47 ^a	1.12	1.35 ^a	0.047	y = 1.17	-

Fe, mg dm ⁻³	19.50 ^d	27.75 ^{bc}	30.5 ^{abc}	31.32 ^{ab}	34.00 ^a	24.75 ^c	1.10	$y = 20.23 + 0.046x - 0.00004x^2$	0.956
Mn, mg dm ⁻³	51.00 ^a	50.50 ^a	61.00 ^a	49.25 ^a	60.25 ^a	55.50 ^a	2.24	$y = 50.95$	-
Zn, mg dm ⁻³	0.550 ^{ab}	0.700 ^a	0.750 ^a	0.675 ^a	0.700 ^a	0.400 ^b	0.032	$y = 0.620$	-
Capa 0.20-0.40 m									
MO, g kg ⁻¹	22.25 ^a	23.32 ^a	24.25 ^a	21.50 ^a	23.32 ^a	21.50 ^a	0.492	$y = 23.33$	-
pH, CaCl ₂	5.22 ^a	5.22 ^a	5.17 ^a	5.17 ^a	5.15 ^a	5.22 ^a	0.023	$y = 5.23$	-
CIC, cmol _c dm ⁻³	4.82 ^{ab}	5.06 ^{ab}	5.28 ^{ab}	5.28 ^{ab}	5.73 ^a	4.57 ^b	0.115	$y = 4.83 + 0.001x$	0.233
H+Al, cmol _c dm ⁻³	1.92 ^b	2.07 ^b	2.30 ^{ab}	2.35 ^{ab}	2.65 ^a	1.87 ^b	0.067	$y = 1.91 + 0.001x$	0.968
P, mg dm ⁻³	1.10 ^a	1.00 ^a	1.50 ^a	1.25 ^a	1.25 ^a	1.00 ^a	0.077	$y = 1.11$	-
K, mg dm ⁻³	106.00 ^a	94.00 ^a	74.00 ^a	79.00 ^a	81.32 ^a	78.00 ^a	4.99	$y = 99.73$	-
Ca, cmol _c dm ⁻³	1.97 ^a	2.12 ^a	2.10 ^a	1.90 ^a	2.07 ^a	1.85 ^a	0.058	$y = 1.98$	-
Mg, cmol _c dm ⁻³	0.650 ^a	0.625 ^a	0.700 ^a	0.825 ^a	0.800 ^a	0.650 ^a	0.028	$y = 0.620 + 0.001x$	0.202
S, mg dm ⁻³	3.50 ^a	3.75 ^a	3.50 ^a	3.75 ^a	3.50 ^a	4.00 ^a	0.115	$y = 3.60$	-
Na, mg dm ⁻³	2.00 ^a	1.50 ^a	2.25 ^a	2.00 ^a	1.75 ^a	2.75 ^a	0.175	$y = 2.21$	-
B, mg dm ⁻³	0.250 ^a	0.200 ^a	0.200 ^a	0.250 ^a	0.125 ^a	0.175 ^a	0.015	$y = 0.245$	-

Cu, mg dm ⁻³	1.27 ^a	1.15 ^a	1.67 ^a	1.25 ^a	0.975 ^a	1.20 ^a	0.100	y = 1.36	-
Fe, mg dm ⁻³	19.57 ^{bc}	21.5 ^b	24.5 ^{ab}	25.32 ^a	25.75 ^a	18.75 ^c	0.721	y = 20.09 + 0.010x	0.979
Mn, mg dm ⁻³	35.25 ^a	35.25 ^a	38.25 ^a	33.50 ^a	39.75 ^a	34.75 ^a	0.944	y = 34.95 + 0.004x	0.466
Zn, mg dm ⁻³	0.400 ^a	0.425 ^a	0.600 ^a	0.525 ^a	0.525 ^a	0.475 ^a	0.031 ^a	y = 0.425	-

FQ= fertilización química con 80 kg ha⁻¹ P₂O₅; y= valor observado; x= dosis de residuos sanguíneos (0 m³ ha⁻¹, 150 m³ ha⁻¹, 300 m³ ha⁻¹, 450 m³ ha⁻¹, 600 m³ ha⁻¹).

MO= materia orgánica; pH en CaCl₂= acidez activa; CIC= capacidad de intercambio catiónico; H+Al= acidez potencial; P= fósforo; K= Potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio; S= azufre; B= Boro; Cu= cobre; Fe= hierro; Mn= manganeso; Zn= zinc; R²= coeficiente de determinación; EEM= error estándar de la media.

Las medias seguidas de las mismas letras minúsculas en las filas no difirieron entre sí a un nivel de probabilidad del 5 %.