

## REPOSICIÓN DE MACRONUTRIENTES CON APLICACIONES DE MOLIBDENO EN PASTURA CON LEGUMINOSAS NATIVAS<sup>1</sup>

**Esteban Arosemena-Jaén<sup>2</sup>; Marie Soleil Turmeß<sup>3</sup>;  
Kentaro Tomita<sup>4</sup>; Marco Navarro<sup>5</sup>**

### RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar los efectos de interacción de alternativas de reposición con fertilización química y orgánica (estiércol bovino) de macronutrientes, con aplicaciones basales de molibdeno (Mo) y los aportes de leguminosas nativas sobre el rendimiento de la pastura *Brachiaria humidicola* bajo corte. Los tratamientos fueron: T1) sin fertilización; T2) reposición química de nutrientes extraído sin incluir N; T3) reposición química de nutrientes incluido 96 kg·ha<sup>-1</sup>·año de N; T4) reposición con estiércol y químico incluido 57 kg·ha<sup>-1</sup>·año de N aportado por estiércol; T5) igual a T4 más 39 kg·ha<sup>-1</sup>·año de N aportado por urea; T6) igual T2 sin leguminosa. Se realizaron cuatro aplicaciones basales de Mo: al inicio, a los 2; 5,5 y 7,6 años. Para el análisis se utilizó un diseño de parcela dividida con cuatro repeticiones. El rendimiento de forraje fue de 18,6; 16,3; 15,4; 11,9; 7,2 y 6,6 t·ha<sup>-1</sup>·año de materia seca (MS) en T5, T4, T3, T2, T6 y T1; respectivamente. El nitrógeno químico afectó negativamente el rendimiento de las leguminosas a razón de 11,13 kg de MS por kg de N aplicado. El aporte de las leguminosas en el rendimiento de la pastura fue de 2,76 kg de MS por kg de MS de leguminosa contribuyendo con 4,32; 5,51; 1,72; 4,71 y 0,95 t·ha<sup>-1</sup>·año de MS de forraje de pastura en T5, T4, T3, T2 y T1, respectivamente. La aplicación de Mo mejoró en 2,64 veces el rendimiento anual de las leguminosas, en 12% la respuesta a la urea y en 24% la respuesta a los nutrientes nativos del suelo, contribuyendo en promedio con el 23% del rendimiento de la pastura.

**Palabras claves:** *Brachiaria humidicola*, estiércol, fertilidad del suelo, nutrientes, pastura.

<sup>1</sup>Recepción: 21 de septiembre de 2022. Aceptación: 11 de abril de 2023. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

<sup>2</sup>IDIAP, Centro de Innovación Agropecuaria de Recursos Genéticos (CIA de Recursos Genéticos).  
e-mail: [earosemena19@hotmail.com](mailto:earosemena19@hotmail.com), <https://orcid.org/0009-0000-1293-8301>

<sup>3</sup>Department of Natural Resource Sciences, McGill University, Montreal, QC, Canada

<sup>4</sup>Agencia de Cooperación de Japón (JICA).

<sup>5</sup>Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). <https://orcid.org/0009-0002-8038-4421>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

## REPLACEMENT OF MACRONUTRIENTS WITH APPLICATIONS OF MOLYBDENUM IN PASTURE WITH NATIVE LEGUMES

### ABSTRACT

The objective of this work was to determine the interaction effects of replacement alternatives with chemical and organic fertilization (bovine manure) of macronutrients, with basal applications of molybdenum (Mo) and the contributions of native legumes on the performance of *Brachiaria humidicola* under cut. The treatments were: T1) without fertilization; T2) chemical replacement of extracted nutrients without including N; T3) chemical replacement of nutrients including 96 kg·ha<sup>-1</sup>·year of N; T4) chemical replacement and manure including 57 kg·ha<sup>-1</sup>·year of N contributed by manure; T5) similar to T4 plus 39 kg·ha<sup>-1</sup>·year of N contributed by urea; T6) similar to T2 without legume. Four basic applications of Mo were made: at the beginning, at 2; 5,5 and 7,6 years. A split plot design with four repetitions was utilized for the analysis. Forage yield was 18,6; 16,3; 15,4; 11,9; 7,2 and 6,6 t·ha<sup>-1</sup>·year of dry matter (DM) for T5, T4, T3, T2, T6 and T1; respectively. Chemical nitrogen negatively affected the yield of native legumes at a rate of 11,13 kg of DM per kg of N applied. The contribution of the legumes in forage yield was 2,76 kg of DM per kg of legumes DM, contributing with 4,32; 5,51; 1,72; 4,71 and 0,95 t·ha<sup>-1</sup>·year of grass forage DM for T5, T4, T3, T2 and T1, respectively. The application of Mo improved the annual yield of legumes by 2,64 times, the response to urea by 12% and the response to native soil nutrients by 24%, contributing on average 23% of the forage yield.

**Key words:** *Brachiaria humidicola*, manure, soil fertility, nutrients, pasture.

### INTRODUCCIÓN

Es reconocido que los sistemas de pastura mejoran los contenidos de nitrógeno y carbono del suelo, aumentando el potencial de producción de los mismos. Sin embargo, la degradación de la productividad de la pastura y de la fertilidad del suelo es un problema bastante frecuente en los suelos ácido del trópico americano y ha sido tema de preocupación por los organismos nacionales e internacionales de investigación.

Estos suelos, por la acidez y bajo contenido de materia orgánica, presentan baja disponibilidad de macronutrientes y molibdeno, especialmente de fósforo y nitrógeno. A menudo las deficiencias de algunos de estos elementos contribuyen que la pasturas sembrada sea sustituidas por especies de bajo valor forrajero.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Para hacerle frente a esta problemática se ha recomendado: la siembra de especies de gramíneas y leguminosas adaptado a la acides del suelo de alto rendimiento y bajo requerimiento de nutrientes, la fertilización con fósforo y el manejo del pastoreo con carga animal adecuada (Serrao et al., 1978). A diferencia de América tropical en Australia tropical se ha utilizado ampliamente el superfosfato simple molibdenizado con resultados satisfactorio pero la respuesta al molibdeno no ha sido bien documentada (Sánchez e Isbell, 1978). Sin embargo, existe evidencia que comprueba que la no fertilización con fósforo, azufre y/o molibdeno afecta profundamente la sobrevivencia de la leguminosa y su productividad (Clarence, 1978).

Panamá con una alta proporción de suelos ácidos no escapa al problema de la degradación de la pastura. Los censos agropecuarios de 1950 a 2011 registran una disminución progresiva, en el número de animales por hectárea en las provincias centrales, a diferencia de la provincia de Chiriquí. El aumento en la productividad de la pastura observado en la provincia de Chiriquí se asoció al impacto positivo que han tenido las introducciones de pasturas mejoradas en la década de los 70 y 90. En cambio, en las provincias centrales, estas introducciones carecieron de los impactos positivos observados en Chiriquí (Instituto de Estadística y Censo de Panamá, 2011).

En un estudio realizado entre 2011 y 2013 en la cuenca del río La Villa, el 42% de los potreros monitoreados sembrados con *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria brizantha* (las especies más sembradas) se degradaron y fueron invadidos por gramíneas nativas de bajo valor forrajero, a diferencia de los potreros sembrados con *Brachiaria humidicola* y *Andropogon gayanus* que en ningún caso se degradaron en el tiempo de la evaluación (Arosemena et al., 2014b).

Según un estudio de elementos faltantes, utilizando el pasto *Hyparrhenia rufa* y la leguminosa *Centrosema* sp., como plantas indicadoras, el 78, 88, 88, 80, 20, 20 y 30% de los suelos de las provincias centrales presentaron deficiencia de molibdeno (Mo), nitrógeno (N), azufre (S), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), respectivamente. A diferencia de la provincia de Chiriquí que un 17, 50, 50, 83, 0, 16 y 33% de los suelos presentaron deficiencia de Mo, N, S, P, K, Ca y Mg (Poultney et al.,



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

1986). Sugiriendo la necesidad de incluir la fertilización con molibdeno en los sitios con historial de pastura degradada.

El Mo es un componente esencial de la enzima nitrato reductasa que convierten el nitrato a nitrito para luego convertirse en amoníaco y usar en la síntesis de aminoácidos dentro de la célula vegetal. También es un componente esencial de la enzima nitrogenasa presente en las bacterias en simbiosis con las leguminosas que transforman el nitrógeno atmosférico en amoniaco. Las plantas también usan Mo para convertir el fósforo inorgánico a formas orgánicas (Promix, 2022).

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (1984) reporta diferencias entre cultivares de pastos en el aprovechamiento del nitrógeno en la forma de amonio, se destaca *Brachiaria humidicola* CIAT 679 que logró alcanzar el techo óptimo de producción en cualquiera de las dos formas (N-NH<sub>3</sub> y N-NO<sub>3</sub>) presente en el suelo. En cambio, *Brachiaria decumbens* apenas alcanzó con el N-NH<sub>3</sub> el 50% de la producción obtenido con el nitrato (N-NO<sub>3</sub>), lo que hace que sea susceptible a la deficiencia de Mo.

El cultivar *Brachiaria humidicola* CIAT 679, además de aprovechar el amonio, inhibe parcialmente la nitrificación reduciendo la pérdida de nitrógeno (Espinosa et al., 2012) y el riesgo de intoxicación por nitratos en bovino que causa la deficiencia de molibdeno (Pigurina y Banchemo, 1992).

La aplicación de Mo mejoró de 2,5 a 6 veces el rendimiento de nitrógeno de las leguminosas forrajeras sembrada y espontánea en sitios de las provincias de Coclé, Los Santos y Veraguas y en un 36% el rendimiento de forraje de la pastura *B. brizantha* cv Marandú asociada con leguminosas nativas en Llano de Piedra-Macaraca, en un sitio con historial de pastura mejorada degradada (Arosemena et al., 1990; Arosemena et al., 2014a).

Las leguminosas nativas herbáceas crecen espontáneamente. Su participación en la composición florísticas de los potreros monitoreado en la cuenca alta y baja del río la Villa fue de 22, 17, 11, 4 y 4% en los potreros de *Hyparrhenia rufa*, *Brachiaria humidicola*, *B. brizantha*, *B. decumbens* y *Andropogon gayanus*, respectivamente, siendo el



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

*Calopogonium muconoides* y *Desmodium barbatum* las especies con mayor presencia (Arosemena et al., 2014b).

La biodiversidad de las leguminosas espontaneas presente en la pastura es alta y constituye un recurso valioso adaptados al pastoreo y a las condiciones edáficas y climáticas donde crecen. Por su parte, el interés por las leguminosas sembradas ha disminuido debido a la falta de persistencia que a menudo se registra en las asociaciones establecidas.

El objetivo del trabajo fue determinar los efectos de interacción de alternativas de reposición del N-P-K-S-Mg-Ca en el suelo con fertilización química y estiércol, con aplicaciones basales de Mo y los aportes de leguminosas nativas sobre el rendimiento de la pastura *Brachiaria humidicola* bajo corte, contenido de nitrógeno, carbono y tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el Subcentro Pacífico Marciaga, ubicado en el corregimiento de El Coco, distrito de Penonomé, provincia de Coclé, sobre una pastura constituida por *Brachiaria humidicola* cv Calabacito (CIAT 679) asociada con leguminosas nativas (*Calopogonium mucunoides*, *Desmodium barbatum*, *Stylosanthe* sp.) en un suelo inceptisol de baja fertilidad: pH 5,3, materia orgánica 1,8%, CIC 3 cmol/kg de suelo, fósforo 2 mg/kg, saturación de Al de 14% y una densidad aparente de 1,6 g/cm<sup>3</sup>. Este subcentro está ubicado en la zona de vida de Bosque Seco Tropical, donde la precipitación anual varía entre 1100 y 1650 mm, con periodo seco entre 4,6 y 5 meses al año y temperatura promedio de 27° C (Ramírez, 2003; Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe [CATHALAC], 2016). El área donde se estableció el ensayo tiene una topografía plana con pendiente <1%.

Por ocho años se evaluaron los siguientes tratamientos de reposición de macronutrientes con una fertilización base de molibdeno:

T1) Testigo sin fertilización, con leguminosas nativas;

T2) Reposición Química (P, K, Mg, Ca, S), con leguminosas nativas;



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- T3) Igual al T2 + 32 kg de N/ha/cada 49 días, con leguminosas nativas;  
 T4) Reposición Orgánica complementado con Químico, con leguminosas nativas;  
 T5) Igual al T4 + 13 kg de N/ha/cada 49 días con leguminosas nativas;  
 T6) Reposición Química (P, K, Mg, Ca, S) sin leguminosas.

Se utilizó como fuente orgánica el estiércol de bovino y como fuente química los fertilizantes: cloruro de potasio, sulfato de potasio y magnesio (sulpomag), superfosfato triple, carbonato de calcio, urea y el molibdato de amonio.

La reposición de los macronutrientes del suelo extraídos por la pastura se estimó en base a una producción de forraje de *Brachiaria humidicola* de 16 t $\cdot$ ha $^{-1}$ ·año de MS multiplicado por el nivel crítico interno de cada uno de los macronutrientes del pasto (Salina y Gualdrón, 1982). La reposición estimada fue de 96, 13, 118, 36, 34 y 22 kg $\cdot$ ha $^{-1}$ ·año de N, P, K, Ca, Mg y S, respectivamente.

El estiércol se aplicó a razón de 5,7 t $\cdot$ ha $^{-1}$ ·año y aportó 59, 81, 49, 650, 195, 52% de N, P, K, Ca, Mg, S extraído, respectivamente y el resto fue completado con fertilizantes químicos hasta completar el 100% de la extracción estimada. La cantidad de macronutrientes que se aplicaron en los tratamientos de reposición se describen en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Cantidad de macronutrientes que se aplicaron en los tratamientos de reposición.**

Trat.	Químico (kg $\cdot$ ha $^{-1}$ ·año)						Estiércol (kg $\cdot$ ha $^{-1}$ ·año)					
	N	P	K	S	Mg	Ca	N	P	K	S	Mg	Ca
T1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	0	13	118	22	34	36	0	0	0	0	0	0
T3	96	13	118	22	34	36	0	0	0	0	0	0
T4	0	3	60	11	0	0	57	10	58	11	66	234
T5	39	3	60	11	0	0	57	10	58	11	66	234
T6	0	13	118	22	34	36	0	0	0	0	0	0



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El nitrógeno (N) se fraccionó en tres aplicaciones al año. Se realizaron cuatro aplicaciones basales de molibdeno: al inicio, a los 2; 5,5 y 7,6 años de iniciado el ensayo. La dosis utilizada fue de 400 g·ha<sup>-1</sup> de molibdato de amonio y en la última aplicación de 200 g·ha<sup>-1</sup>. El molibdato fue diluido en agua y aplicado en una bomba rociadora de mochila.

Para la evaluación de los tratamientos se utilizó un diseño de parcelas divididas en el tiempo (2007-2014) con cuatro repeticiones. Siendo la parcela principal el efecto de año y la sub parcela las alternativas de reposición de macronutrientes.

El modelo matemático utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + E_{ij} + T_k + (A T)_{ik} + E_{ijk}$$

Donde:

$\mu$  = la media General

$A_i = 1,2,3,4,5,6,7$  efecto de i-esimo años

$B_j = 1,2,3,4$  efecto de j-esimo bloques

$E_{ij}$  = error de la parcela completa

$T_k = 1,2,3,4,5,6$  efecto de K-esimo tratamientos

$(A T)_{ij}$  = efecto de la interacción de ambos factores

$E_{ijk}$  = error de en las subparcelas (tratamientos)

Para evaluar el efecto del molibdeno y su interacción con los tratamientos de reposición de nutrientes se utilizó un diseño de parcelas divididas en el tiempo siendo la parcela principal: el tiempo transcurrido de la aplicación de Mo al primer, segundo y tercer año de aplicación y la sub parcelas los tratamientos de reposición descrito con anterioridad.

El modelo matemático utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + E_{ij} + T_k + (A T)_{ik} + E_{ijk}$$

Donde:

$\mu$  = la media General

$A_i = 1,2,3$ , efecto de i-esimo tiempo transcurrido de la aplicación del Mo

$B_j = 1,2,3,4$  efecto de j-esimo bloques

$E_{ij}$  = error de la parcela completa (tiempo transcurrido)



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

$T_k = 1,2,3,4,5,6$  efecto de K-esimo tratamientos de reposición

$(A T)_{ij}$  = efecto de la interacción de ambos factores

$E_{ijk}$  = error de las sub parcelas

En el 2014-2015, en la última aplicación de Mo se utilizó un diseño de parcela dividida en el espacio siendo la parcela principal los tratamientos de reposición mencionados en el Cuadro 1 y la sub parcelas los niveles de Mo: 0 y 121 g·ha<sup>-1</sup>. Para la determinación de los efectos de los dos factores mencionado y su interacción se analizó con el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + E_{ij} + T_k + (A T)_{ik} + E_{ijk}$$

Donde:

$\mu$  = la media General

$A_i = 1,2,3,4,5,6$  efecto de i-esimo tratamientos de reposición

$B_j = 1,2,3,4$  efecto de j-esimo bloques

$E_{ij}$  = error de la parcela completa (tratamientos de reposición)

$T_k = 1,2$ , efecto de K-esimo niveles de Mo aplicado

$(A T)_{ij}$  = Efecto de la interacción de ambos factores

$E_{ijk}$  = error de las subparcelas (niveles de Mo).

La unidad experimental fue de 15 m<sup>2</sup> y el área de muestreo, realizado al azar, fue de 0,25 m<sup>2</sup>. Los cortes de evaluación de rendimiento de forraje de la pastura se realizaron con intervalo de 49 días durante el periodo lluvioso.

Los parámetros que se midieron fueron producción de forraje de la pastura y del componente leguminosa nativa expresada en kg·ha<sup>-1</sup> de materia seca.

Se estimó a los 3,2 años de iniciado el ensayo, para cada uno de los tratamientos de reposición el contenido en el suelo de carbono, nitrógeno, materia orgánica, relación C:N y tasa de mineralización de MO. Para la determinación de nitrógeno se extrajeron el NO<sub>3</sub> y el NH<sub>4</sub> con KCl 2 M inmediatamente después de la recolección. Los extractos se analizaron con un QuickChem 8500 (Hach Ltd. Loveland, CO, EE. UU.). A su vez, el C y el



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



N totales del suelo se determinaron utilizando un analizador de suelos Flash EA 1112 NC (Carlo-Erba, Milán, Italia).

Para el análisis de los resultados del contenido de N y C del suelo se utilizó un diseño de bloque completamente al azar, siendo el modelo matemático:

$$Y_{ijkl} = \mu + B_j + T_k + E_{jk}$$

Donde:

$\mu$  = la media General

$B_j = 1,2,3,4$  efecto de j-esimo bloques

$T_k = 1,2,3,4,5,6$  efecto de K-esimo tratamiento de reposición

$E_{ij}$  = error experimental

Se estimó el aporte promedio de cada uno de los factores estudiados que contribuyeron al rendimiento de la pastura: leguminosas nativas, nutrientes nativos del suelo, estiércol de bovino, nitrógeno químico y nutrientes químicos (P, Ca, K, Mg y S) aplicado.

Para estimar los aportes de las leguminosas en el rendimiento de la pastura, se calculó el coeficiente de aporte, restando al rendimiento de la pastura de T2 el rendimiento de la pastura de T6 dividido por el rendimiento de las leguminosas nativas alcanzado en T2. Coeficiente de aporte de la leguminosa =  $(YP_{T2} - YP_{T6}) / YL_{T2}$ .

El coeficiente resultante se utilizó para estimar los aportes de las leguminosas en cada uno de los tratamientos.

Aporte de la leguminosa en  $T_i = 1,2,3,4,5 = ((YP_{T2} - YP_{T6}) / YL_{T2}) (YLT_i = 1,2,3,4,5)$

El aporte de los nutrientes nativos del suelo se estimó en base al rendimiento obtenido en T1 restando el aporte de las leguminosas.

El aporte de los macronutrientes aplicado (P, Ca, K, Mg y S) se estimó restando al rendimiento promedio de T2 los aportes estimados de los nutrientes nativos del suelo y de las leguminosas nativas.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El aporte del N químico aplicado en T3 se estimó restando al rendimiento de T3 los aportes de las leguminosas, nutrientes nativos del suelo y nutrientes químicos aplicados (P, Ca, K, Mg y S).

El aporte combinado del estiércol + químico se estimó restando al rendimiento de T4 los aportes de los nutrientes nativos y leguminosas. El aporte del N de la urea aplicado en T5 se estimó restando al rendimiento de T5 los aportes de las leguminosas, nutrientes nativos del suelo y del combinado estiércol + químico.

Se estimó el aporte del Mo sobre el rendimiento de la pastura atribuido a las leguminosas en los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 por la diferencia del rendimiento promedio anual de forraje de leguminosas de los siete años, menos el rendimiento promedio anual obtenido a partir del segundo y tercer año de aplicado el Mo; periodo en la cual el efecto residual fue poco perceptible; multiplicado por el coeficiente de conversión mencionado anteriormente.

La contribución del Mo sobre el rendimiento atribuido a los nutrientes nativos de suelo se estimó por la diferencia entre el rendimiento promedios anual (7 años) de T1 menos el rendimiento de la pastura en T1 obtenido al tercer año de aplicado el Mo, con poco efecto residual, menos el aporte del Mo sobre el rendimiento de las leguminosas estimada en T1.

De igual manera la contribución del Mo sobre el rendimiento atribuido a los macronutrientes (P, Ca, K, Mg y S) se estimó por la diferencia entre el rendimiento promedio anual de la pastura en los 7 años alcanzado en T2 menos el rendimiento de la pastura anual obtenido en T2 al tercer año de aplicado el Mo, menos los aportes del Mo en el rendimiento atribuido a los nutrientes nativos del suelo y a los atribuido a las leguminosas.

En el nitrógeno químico, el aporte del Mo se estimó por la diferencia entre el rendimiento promedio anual de la pastura en los 7 años alcanzado en T3 menos el rendimiento de las pasturas obtenido en T3 al tercer año de aplicado el Mo, menos los



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

aportes del Mo en el rendimiento de la pastura atribuido a los nutrientes nativos del suelo, leguminosas y químico aplicado.

Falto determinar el aporte de Mo en el estiércol debido al efecto residual prolongado y acumulativo de las aplicaciones anuales.

Los aportes del Mo en la respuesta a la urea aplicada en T5 se estimaron por el aporte porcentual estimado en T3.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Respuesta a la reposición y fuente de nutrientes

El mayor rendimiento promedio de la pastura ( $P < 0,05$ ) del periodo 2007-2015 se registró en los tratamientos con estiércol: T4 y T5, con una tendencia a incrementarse con el paso de los años (Cuadro 2).

Los tratamientos testigos sin leguminosas y sin fertilización (T1 y T6) mostraron el menor rendimiento, con una marcada tendencia a disminuir y ser similar con el paso de los años. Es notorio, en el testigo sin fertilización, la producción casi nula de leguminosas nativas registrada en los últimos años de evaluación; lo que contribuyó que el rendimiento de la pastura fuera al final 32% del rendimiento de materia seca obtenido con el tratamiento T5 (Cuadro 2). Igualmente, en el tratamiento sin leguminosas, la reposición química de los nutrientes no evito que el rendimiento de la pastura declinara sensiblemente (Cuadro 2).

La reposición con fertilizantes químicos de P, Ca, K, Mg y S sostuvo el rendimiento alcanzado inicialmente. En cambio, con la fertilización química con nitrógeno se alcanzó inicialmente el mayor rendimiento de forraje con tendencia a disminuir con el paso de los años, siendo en los dos últimos años inferior ( $P < 0,05$ ) en un 19% al rendimiento alcanzado en T4: 14100 vs 17486 kg·ha<sup>-1</sup>·año de MS; cuando se repuso los nutrientes con estiércol (Cuadro 2).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

**Cuadro 2. Efecto de los tratamientos de reposición y año sobre el rendimiento promedio de forraje de la pastura *Brachiaria humidicola* asociada con leguminosas nativas. El Coco de Penonomé, 2007-2015.**

Trat.	Rendimiento promedio de forraje de la pastura por año (kg·ha <sup>-1</sup> de MS)							Media 07-15
	07-08, Mo	08-09	09-10, con Mo	10-11	11-12	12-13, con Mo	14-15, con Mo	
<b>Estiércol + N</b>	17028 a	15536 a	21860 a	19520 a	18200 a	18956 a	19304 a	18628 a
<b>Estiércol</b>	14116 b	14040 a	18636 b	16228 b	16140 b	17040 a	17932 a	16304 b
<b>Químico + N</b>	18776 a	14240 a	18052 b	16160 b	12440 c	12656 b	15544 b	15408 c
<b>Química (P, K, Mg, Ca, S)</b>	12928 bc	10644 b	14036 c	12652 c	8848 d	11796 b	12156 c	11864 d
<b>Sin leguminosas + Químico</b>	10748 c	7844 c	7908 d	6528 d	5600 e	5996 c	6320 d	7152 e
<b>Testigo sin fertilización</b>	10688 c	7028 c	7052 d	5768 d	4808 e	4892 c	6152 d	6636 e
<b>Media</b>	14208 a	11556 c	14588 a	12808 b	11004 c	11888 bc	12900 b	
<b>ANOVA</b>								
<b>Trat.</b>	P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001	P<0,0001
<b>Bloque</b>	P=0,50	P=0,144	P=0,084	P=0,0294	P=0,196	P=0,47	P=0,026	P=0,0003
<b>año</b>								P<0,0001
<b>Año x Tratamiento</b>								P<0,0001

Medias con distintas letras en la misma columna son diferentes (P<0,05).

Los tratamientos con estiércol y químico sin nitrógeno fueron los que registraron los mayores rendimientos de leguminosas (P<0,05) (Cuadro 3).

La presencia de leguminosas nativas en el tratamiento químico T2:1704 kg·ha<sup>-1</sup>·año de MS (Cuadro 3) incrementó significativamente el rendimiento de la pastura (P<0,05) en un 66% (4712 kg·ha<sup>-1</sup>·año de MS) con respecto al químico sin leguminosa T6 (Cuadro 2). Siendo los aportes de las leguminosas el rendimiento de la pastura de 2,765 kg de MS por kg MS de leguminosa. Al respecto, Guevara et al. (2007) reportan, en condiciones de pastoreo, aportes mayores de las leguminosas nativas en el rendimiento de la pastura.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En las dos fuentes de reposición utilizadas se registró respuesta a la fertilización nitrogenada (urea) en el rendimiento de la pastura siendo el incremento de 60 y 37 kg de MS por kg de N aplicado cuando la fuente para la reposición de los macronutrientes utilizado fue estiércol y químico, respectivamente.

**Cuadro 3. Efecto de los tratamientos de reposición de macronutrientes y año sobre el rendimiento promedio de forraje de las leguminosas nativas asociado con *Brachiaria humidicola*.**

Trat.	Rendimiento promedio de forraje de las leguminosas por año (kg·ha <sup>-1</sup> de MS)							
	07-08, Mo	08-09	09-10, con Mo	10-11	11-12	12-13, con Mo	14-15, con Mo	Media 07-15
Estiércol	2576 a	1528 a	3464 a	1152 a	952 a	2440 a	1840 a	1992 a
Químico (P, K, Mg, Ca, S)	2368 a	1908 a	2972 ab	864 ab	1104 a	1564 ab	1148 ab	1704 ab
Estiércol + N	2256 a	984 b	2236 b	768 abc	988 a	2532 a	1180 ab	1564 b
Química +N	1288 a	460 c	1128 c	320 bc	364 ab	608 bc	193 cd	624 c
Testigo sin fertilización	1472 a	168 c	196 c	392 abc	64 b	40 c	56 d	340 cd
sin leguminosas + Químico	13.2 b	28 c	80 c	0 c	0 b	0 c	93 d	30 d
Media	1660 a	844 bc	1680 a	580 c	578 c	1196 ab	888 bc	

ANOVA

Tratamientos	P=0,0133	P<0,0001	P<0,0001	P=0,043	P=0,015	P=0,0005	P=0,002	P<0,0001
Bloque	P=0,31	P=0,581	P=0,0128	P=0,43	P=0,60	P=0,396	P=0,58	P=0,8795
año								P=0,0007
Año x Tratamiento								P=0,0002

Medias con distintas letras en la misma columna son diferentes (P<0,05).

Si se elimina el efecto confundido de leguminosas (2,765 kg de MS/kg de MS de leguminosas) el aporte de la fertilización nitrogenada sería 89,4 y 68 kg de MS por kg de N aplicado. La diferencia es explicada en parte por el efecto negativo de la acidificación del



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

suelo que produce la urea que fue mayor en T3 por la dosis alta de urea, contrarrestado en T5 por el alto contenido de calcio del estiércol (Cuadro 1).

Además, el N químico aplicado tuvo un efecto negativo ( $P < 0,05$ ) en el rendimiento de las leguminosas nativas. Por cada kg de N de la urea aplicado se redujo en 10,97 y 11,25 kg de MS de forraje de leguminosas cuando la fuente de reposición fue estiércol y química, respectivamente. Fernández-Pascual et al. (2002), señalan que la fertilización nitrogenada inhibe la nodulación y la acción de la nitrogenasa. A diferencia del estiércol, el agregado de fertilizante nitrogenado no fomentó la actividad microbiana, sino una caída de pH que la restringieron (Del Pino et al., 2008). La dosis alta de nitrógeno químico ( $96 \text{ kg de N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}$ ) produjo una reducción promedio del rendimiento de leguminosas de  $1,08 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}$  y de la pastura de  $3,00 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}$ .

Con el estiércol la tasa de respuesta del nitrógeno químico aplicado disminuyó con el paso de los años ( $y = -8,3661x + 123,53$ ), no siendo significativa ( $P < 0,05$ ) la respuesta en los dos últimos años (Cuadro 2), debido al aumento del nitrógeno orgánico aportado por el estiércol y las leguminosas. Zérega y Hernández (1998), encontraron que el contenido de materia orgánica, iguales y mayores de 3,3%, no registraron respuesta a la fertilización con urea. En cambio, con la reposición química la tasa de respuesta de nitrógeno aumentó con los años ( $y = 4,47x + 55,6$ ) debido a la disminución del contenido de nitrógeno que se registró en el testigo sin leguminosas.

En cada uno de los tratamientos se observó el aporte promedio estimado de cada uno de los factores que contribuyeron en el rendimiento de la pastura: nutrientes nativos del suelo, nitrógeno químico, leguminosas, estiércol y nutrientes químico (P, Ca, K, Mg y S) aplicado (Cuadro 4).

La respuesta de los macronutrientes sobre el rendimiento de la pastura, expresado por unidad de nitrógeno aportado por el estiércol y la urea, fue similar: 89,8; 89,7; y 83,4 kg de MS/kg de nitrógeno aplicado en T5, T4 y T3, respectivamente. Con una contribución en el rendimiento de 8,62; 5,11 y 8,01  $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}$  de MS en T5, T4 y T3. En cambio, los aportes de las leguminosas en el rendimiento de la pastura fueron de 4,32; 5,50 y 1,72



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

t ha<sup>-1</sup>·año de MS en T5, T4 y T3 y explican las diferencias del rendimiento total obtenido: 18,6; 16,3 y 15,4 t ha<sup>-1</sup>·año de MS en T5, T4 y T3.

**Cuadro 4. Aportes en el rendimiento de la pastura (kg·ha<sup>-1</sup>·año de MS) de los factores en cada uno de los tratamientos evaluados y el porcentaje de su contribución con respecto al total obtenido.**

Factores que aportaron	Aporte en el rendimiento de la pastura (kg·ha <sup>-1</sup> ·año de MS)					
	T5 (Ex+N)	T4 (Ex)	T3 (Q+N)	T2 (Q)	T6 (Q sin leg)	T1 (sin fert)
<b>Nutrientes</b>	5679	5679	5679	5679	5679	5679
<b>nativos del suelo</b>	30,5%	35%	37%	48%	79%	86%
<b>Leguminosas</b>	4325	5508	1725	4712	0	957
	23%	34%	11%	40%	0%	14%
<b>Nitrógeno (urea)</b>	3487	0	6538	0	0	0
	14%	0%	42%	0%	0%	0%
<b>Estiércol</b>	5117	5117	0	0	0	0
	32%	31%	0%	0%	0%	0%
<b>P, Ca, K, Mg, S</b>	0	0	1473	1473	1473	0
	0%	0%	10%	12%	14%	0%
<b>Total</b>	18628	16304	15415	11864	7152	6636
	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Ex+N = Estiércol + N; Ex = Estiércol; Q+N = Química +N; Q = Químico; Q sin leg =Químico sin leguminosas; sin fert = Testigo sin fertilización

#### Aporte del molibdeno

El rendimiento de la pastura fue en promedio 23 y 10% mayor ( $P < 0,05$ ) transcurrido el primer y segundo año de aplicado el molibdeno con respecto al tercer año, lo que indica un efecto residual positivo de la aplicación de Mo de al menos dos años (Cuadro 5). Al respecto, Brennan (2002), reporta en el cultivo de trébol una disminución continua del efecto residual de la fertilización con Mo teniendo una efectividad de 30% a los 5 años de aplicado.

Pero apenas fue un 6% mayor en el primer año en los tratamientos con estiércol, debido a la tendencia observada en el Cuadro 2, de incrementarse el rendimiento, a través del tiempo, por el efecto residual acumulativo del estiércol.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Es interesante mencionar que el efecto positivo del Mo observado en los tratamientos T1, T3 y T6 se debieron principalmente a un mejor aprovechamiento del N-NO<sub>3</sub> proveniente de la urea y del N- nativo del suelo (Cuadro 5).

El rendimiento de las leguminosas nativas fue 2,39 y 2,64 veces mayor en el primer año de aplicado del molibdeno con respecto a lo obtenido en el segundo y tercer año de su aplicación, respectivamente (Cuadro 6).

Solo se registró respuesta ( $P<0,05$ ) en el rendimiento de leguminosas a la aplicación de Mo en los dos tratamientos con estiércol y en el tratamiento químico sin nitrógeno; siendo el tratamiento con estiércol (T4) el más favorecido por la aplicación de Mo al registrar el mayor rendimiento de leguminosas ( $P<0,05$ ) en el primer año de aplicado el Mo (Cuadro 6).

Se estimó para cada uno de los factores que contribuyeron el rendimiento de las pasturas, descrito en el Cuadro 4, el porcentaje del aporte debido a las aplicaciones basales de Mo (Cuadro 7).

La mayor contribución del Mo al rendimiento de la pastura se estimó en el tratamiento con estiércol (4603 kg·ha<sup>-1</sup>·año de MS), estiércol con nitrógeno (3902 kg·ha<sup>-1</sup>·año de MS) y en el químico sin nitrógeno (3454 kg·ha<sup>-1</sup>·año de MS), debido en gran parte por una mayor fijación biológica del nitrógeno por las leguminosas.

La contribución del Mo en los aportes de las leguminosas en el rendimiento de la pastura osciló entre 50% y 75%.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



**Cuadro 5. Efecto del tiempo transcurrido de la aplicación de molibdeno sobre el rendimiento promedio de forraje de la pastura *Brachiaria humidicola* asociada con leguminosas nativas.**

Tiempo transcurrido de la aplicación de Mo	Rendimiento promedio de forraje de la pastura (kg·ha <sup>-1</sup> ·año de MS)						Medias
	Estiércol + N	Estiércol	Químico + N	Química (P, K, Mg, Ca, S)	Sin leguminosas + Químico	Testigo sin fertilización	
0-12 meses	19283	16598	16496	12918	7990	7565	13475 a
12-24 meses	17869	16140	15071	11481	6713	6265	12152 a
24-36 meses	18200	15514	12440	8850	5546	4810	10997 b
Media	18451 a	16084 b	14669 c	11083 d	6750 e	6213 e	

ANOVA	
Tratamiento	P<0,0001
Bloque año	P=0,2239
Año x tratamiento	P=0,0061
	P=0,680

Medias con distintas letras son diferentes(P<0,05).

**Cuadro 6. Efecto del tiempo transcurrido de la aplicación de molibdeno sobre el rendimiento promedio de forraje (kg·ha<sup>-1</sup>·año de MS) de leguminosas nativas asociada con el pasto *Brachiaria humidicola* (2007 a 2015).**

Tiempo transcurrido de la aplicación de Mo	Rendimiento promedio de forraje de leguminosas nativas (kg·ha <sup>-1</sup> ·año de MS)						Medias
	Estiércol	Química (P, K, Mg, Ca, S)	Estiércol+N	Químico+N	Testigo sin fertilización	sin leguminosas + Químico	
0-12 meses	2103 a	1605 b	1714 ab	626 cdef	338 defg	17 g	1067 a
12-24 meses	936 c	831 cd	568 cdef	196 efg	147 efg	7 g	447 b
24-36 meses	520 cdefg	880 c	750 cde	242 fg	26 g	3 g	404 b
Media	1186 a	1105 a	1011 a	355 b	170 bc	9 c	

ANOVA						
F de V	Suma de Cuadrado	gl	Cuadrado Medio	F	P valor	
Modelo	101888363	41	2485082	8,65	<0,0001	
Tiempo transcurrido	21727626	2	10863813	66,20	0,0001	
bloque	55135	3	18378	0,06	0,9788	
Tiempo transcurrido x bloque	984568	6	164095	0,57	0,7530	
Tratamientos	45000229	5	9000045	31,32	<0,0001	
Tiempo transcurrido x tratamientos	12465683	10	1246568	4,34	<0,0001	
Bloque*tratamientos	6855583	15	457038	1,59	0,0804	
Error	49992480	173	287313			
Total	151880843	215				

Medias con distintas letras en la misma columna son diferentes(P<0,05).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

**Cuadro 7. Contribución de las aplicaciones de molibdeno en el rendimiento de la pastura ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año de MS}$ ) atribuidos a los factores contenidos en los tratamientos.**

Tratamientos	Factores	Nutrientes nativos del suelo	Leguminosas	Nitrógeno químico	Estiércol	P,Ca, K,Mg,S químico	Total
Rendimiento de la pastura ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año de MS}$ )							
Estiércol +N (T5)	Aporte de los Factores	5679	4325	2656	5968	0	18628
	Aporte del Mo	1108	2502	292	Sin determinación	0	3902
	% aporte del Mo	19,5%	58%	11%	Sin determinación	0	21%
Estiércol (T4)	Aporte de los Factores	5679	5508	0	5117	0	16304
	Aporte del Mo	1108	3495	0	Sin determinación	0	4603
	% aporte del Mo	19,5%	63%	0	Sin determinación	0	28,2%
Química +N (T3)	Aporte de los Factores	5679	1725	6538	0	1473	15415
	Aporte del Mo	1108	1120	740	0	Sin aporte	2968
	% aporte del Mo	19,5%	65%	11%	0	0	19,2%
Químico (T2)	Aporte de los Factores	5679	4712	0	0	1473	11864
	Aporte del Mo	1108	2346	0	0	Sin aporte	3454
	% aporte del Mo	19,5%	50%	0	0	0	29%
Testigo sin leguminosa (T6)	Aporte de los Factores	5679	0	0	0	1473	7152
	Aporte del Mo	1108	0	0	0	Sin aporte	1108
	% aporte del Mo	19,5%	0	0	0	0	15%
sin fertilización (T1)	Aporte de los Factores	5680	956	0	0	0	6636
	Aporte del Mo	1108	718	0	0	0	1826
	% aporte del Mo	19,5%	75%	0	0	0	27,5%

El Mo contribuyó con el 27%, 19% y 15%, del rendimiento de la pastura en T1, T3 y T6; respectivamente. Estas contribuciones se debieron a una mayor fijación biológica del nitrógeno, mayor aprovechamiento del nitrato inorgánico presente en el suelo. Obteniendo una mejora en la respuesta de los nutrientes nativos del suelo de 24% y de la urea de 12%. A respecto, se reporta que la escasez de Mo en las áreas cultivables de Australia redujo hasta un 30% el rendimiento de los cereales (International Molybdenum Association, 2022).

En la última aplicación de Mo en el 2014, realizada con la mitad de la dosis utilizada anteriormente, se corrobora, con la presencia de los testigos sin Mo, la respuesta al Mo



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

observada en el tiempo, en el rendimiento de leguminosas y de la pastura. Se encontró efecto altamente significativo de Mo ( $P=0,0089$ ) en el rendimiento de la pastura a los 2-12 meses de su aplicación vs testigo sin Mo (26 y 36 meses de su última aplicación); siendo los tratamientos T4 (estiércol) y T2 (químico) los más favorecido por la aplicación de Mo al incrementar en un 27% y 21% el rendimiento de la pastura (Cuadro 8).

**Cuadro 8. Efecto del tiempo transcurrido de la aplicación de molibdeno sobre el rendimiento promedio de forraje de la pastura *Brachiaria humidicola* y su componente leguminosas nativas (2014 a 2015).**

Tratamientos de reposición de Macro nutrientes extraídos	Rendimiento promedio de la pastura (kg.ha <sup>-1</sup> .corte de MS)			Rendimiento promedio de leguminosas (kg.ha <sup>-1</sup> .corte de MS)		
	Tiempo transcurrido de la aplicación de Mo		Media*	Tiempo transcurrido de la aplicación de Mo		Media
	2-12 meses*	26-36 meses**		2-12 meses*	26-36 meses**	
T5- Estiércol+N	6536	6563	6550 a	200,7 ab	135 bc	167,8 a
T4- Estiércol	6397	5021	5709 ab	276,5 a	103,7 bcd	190,1 a
T3- Química+N	5339	4917	5128 b	40,75 cd	57,5 cd	49,1 b
T2- Químico (P, K, Mg, Ca, S)	4191	3467	3829 c	245,75 a	172ab	208,8 a
T6- No se controló las leguminosas	3961	3596	3778 c	197 ab	107 bcd	152 a
T1- sin fertilización	1945	1833	1889 c	11,25 d	9,75 d	10,5 b
Media	4728 a	4233 b		162 a	97,49 b	129,1

ANOVA		
F de V	P valor	P valor
Tratamientos	P<0,0001	0,0003
bloque	P=0,0007	0,592
Molibdeno	P=0,0089	0,0141
Tratamiento*Molibdeno	P=0,29	0,0739

Medias con distintas letras en la misma columna son diferentes ( $P<0,05$ ).

Para la variable rendimiento de leguminosas la respuesta al Mo fue significativa ( $P=0,0141$ ). Siendo el tratamiento con estiércol el más favorecido con la aplicación de Mo al registrar un incremento en 2,66 veces en el rendimiento anual de leguminosas con respecto al testigo (Cuadro 8).

### Materia Orgánica (MO)

El contenido de MO se estimó en los primeros 8 cm y fue en el área experimental al inicio de  $1,8 \pm 0,13\%$  que se puede considerar un suelo en condición levemente degradado.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

A los 3,25 años el mayor contenido de MO ( $P<0,05$ ) se registró en los tratamientos fertilizados con urea (T3) y abonados con estiércol (T4 y T5) y fueron de 2,42; 2,44 y 2,41%, respectivamente. Los menores contenidos de MO se obtuvieron en los tratamientos sin aplicación de nitrógeno T1, T2 y T6 fueron 1,84; 1,96 y 2,06%, respectivamente. El manejo del pasto con leguminosas y estiércol fue efectivo en restaurar la fertilidad del suelo y la materia orgánica arriba del umbral crítico de 2%.

Se registró efecto significativo ( $P<0,05$ ) de leguminosas en el contenido de nitrógeno en el suelo: 1,50% vs 1,29% y en la relación C:N 7,57 vs 8,23; en T2 vs T6, respectivamente (Cuadro 9).

**Cuadro 9. Efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de la pastura y de la leguminosa nativa, contenido de materia orgánica, carbono y nitrógeno en el suelo y tasa de mineralización (TM) de la materia orgánica(MO).**

Tratamientos	Rendimiento de MS en los 3,25 años (ton.ha <sup>-1</sup> )		MO (%)	Carbono (%)	nitrógeno (%)	Relación C:N	TM anual (%)
	pastura	leguminosas					
<b>T5 (Estiércol+N)</b>	54,4 a	4,5 a	2,41 a	1,40 a	0,158 a	8,88 a	7,4 a
<b>T4 (Estiércol )</b>	46,8 b	6,4 a	2,42 a	1,42 a	0,161 a	8,81 a	6,8 a
<b>T3 (Químico+N)</b>	51,1 ab	2,3 b	2,44 a	1,41 a	0,164 a	8,57 a	4 b
<b>T2 (Químico)</b>	37,6 c	5,8 a	1,96 b	1,14 b	0,150 a	7,57 c	6,5 a
<b>T1 (sin fertilización)</b>	24,8 c	1,5 b	1,84 b	1,22 b	0,155 a	7,85 b c	2,5 b
<b>T6 (Químico testigo sin leguminosas)</b>	26,6 c	-----	2,06 b	1,07 b	1,29 b	8,23 ab	

Medias con distintas letras en la misma columna son diferentes  $P<0,05$ .

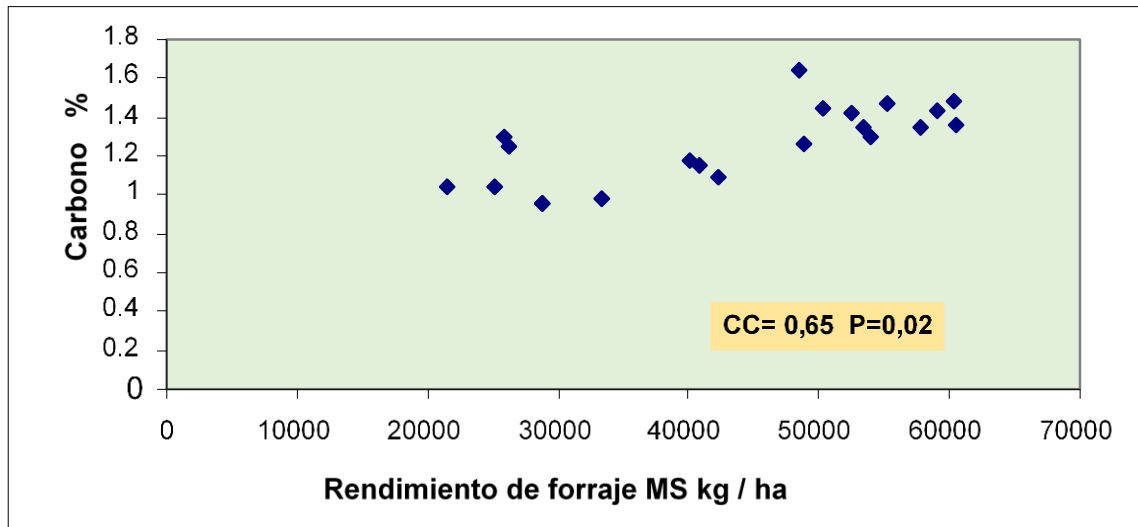
El contenido de carbono del suelo estuvo correlacionado ( $CC=0,65$  y  $P= 0,02$ ) con el rendimiento de forraje de la pastura (Figura 1). Lo anterior se debió al aporte de las raíces del pasto y el estiércol aplicado en el contenido de carbono del suelo. Ya que el forraje de la pastura cortada fue extraído totalmente del área experimental.

Existió una alta correlación ( $CC=0,62$  y  $P= 0,001$ ) entre contenido de carbono y de nitrógeno en el suelo (Figura 2). Indicando que fueron las pasturas con mayor contenido de nitrógeno lo que aportaron la mayor cantidad de raíces y, por ende, de carbono al suelo.

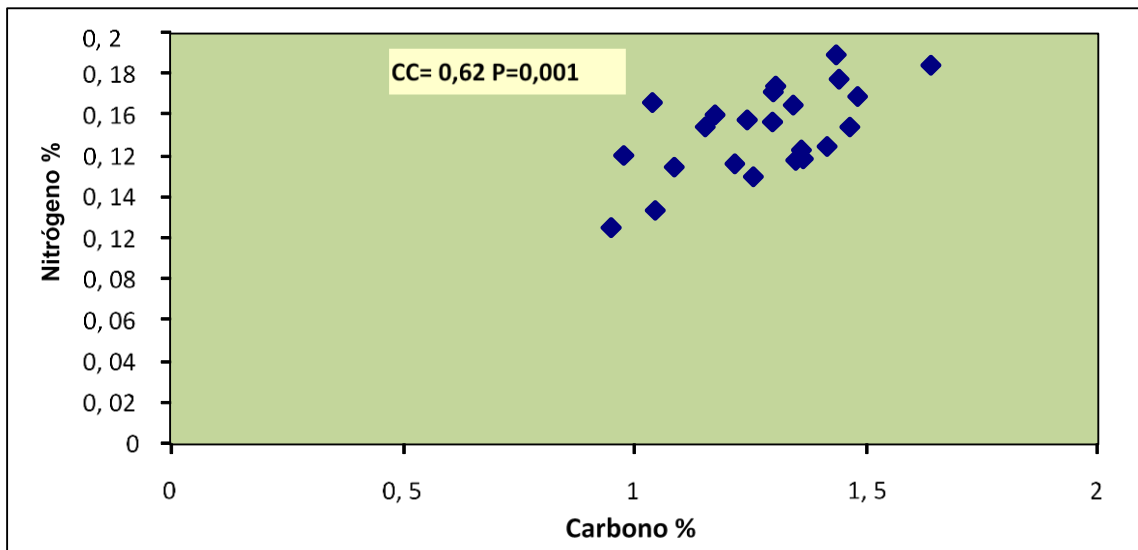


Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

La producción de raíz (25% del rendimiento de forraje) y la MO del excremento aplicado, explica la variación en la MO observada en el suelo y permitió estimar la mineralización de la MO por la diferencia entre lo añadido y lo observado. La tasa de mineralización resultante fue mayor ( $P < 0,05$ ) en los tratamientos con alto rendimiento de leguminosa (T2, T4 y T5) registrando una alta asociación ( $P = 0,0006$  y  $R^2 = 0,95$ ) entre el rendimiento de las leguminosas y la tasa de mineralización (Figura 3).



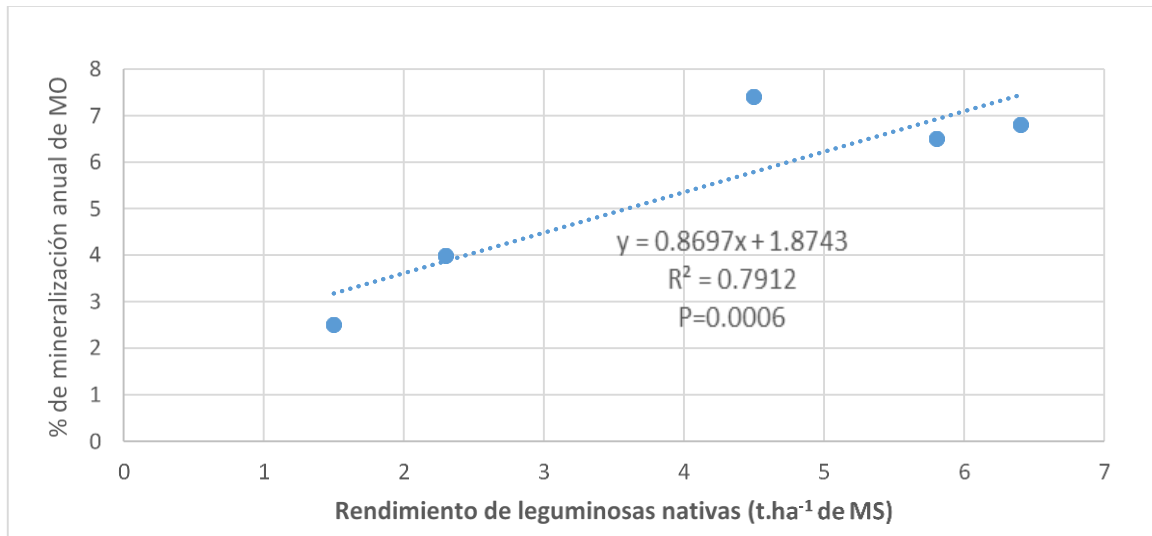
**Figura 1. Correlación entre el rendimiento de forraje y contenido de carbono de las unidades experimentales.**



**Figura 2. Correlación entre los contenidos de carbono y nitrógeno en las unidades experimentales.**



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

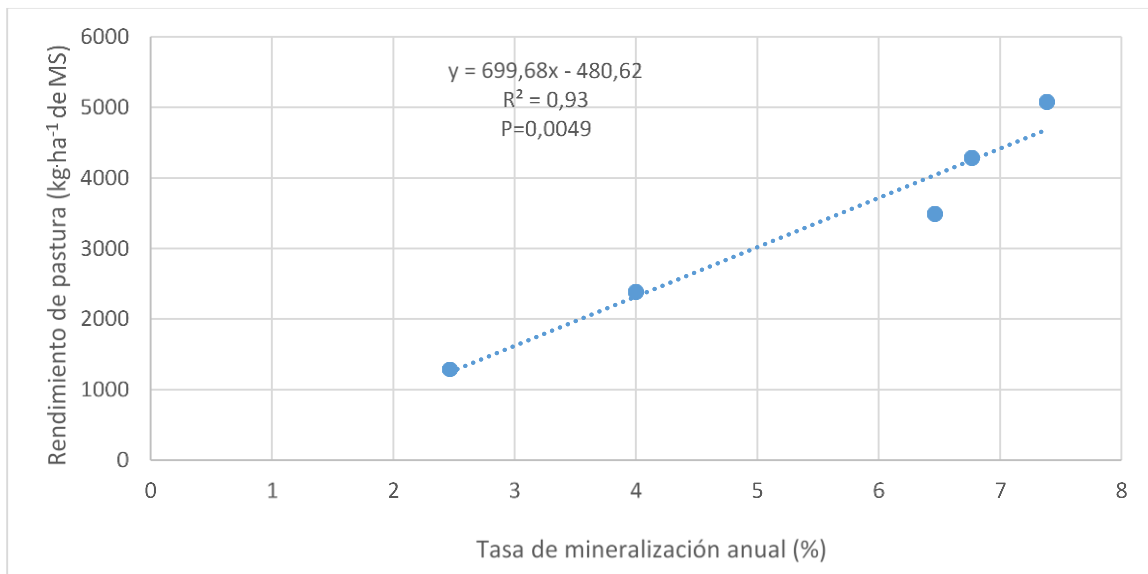


**Figura 3. Relación entre tasa de mineralización anual de Materia Orgánica (MO) y rendimiento de leguminosas nativas.**

Existió una alta asociación ( $P=0,0049$  y  $R^2=0,93$ ) entre la tasa de mineralización de la materia orgánica y el rendimiento de la pastura al inicio del periodo lluvioso (Figura 4). El mayor rendimiento de la pastura se registró en los tratamientos con mayor producción de leguminosas nativas. Lo anterior, se debió a que las especies de leguminosas nativas son anuales, mueren al inicio del periodo seco, por lo que el mayor aporte de nitrógeno de los residuos de las leguminosas (raíces, tallos y hojas) en descomposición se registran al inicio del periodo lluvioso, llegando a incrementar en más de  $4,0 \text{ t.ha}^{-1}$  de MS el rendimiento de la pastura, con respecto al testigo sin leguminosas, en un lapso corto de tiempo. Es notorio el bajo rendimiento de la pastura registrado en T3 al inicio del periodo lluvioso, cuando no se fertilizo con urea.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



**Figura 4. Relación entre la tasa de mineralización y rendimiento de la pastura al inicio del periodo lluvioso.**

### CONCLUSIONES

- La reposición de los macronutrientes a través del estiércol complementado con aplicaciones química de P, S, K y Mo, con y sin fertilización nitrogenada resultaron en las mejores alternativas para aumentar la productividad de la pastura y la fertilidad del suelo. Los aportes de las leguminosas (en promedio 28% del rendimiento total de la pastura), potenciado enormemente por las aplicaciones de molibdeno, fue determinante en la optimización de la productividad de la pastura, contenido de C, N y tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo.
- La aplicación de Mo mejoró en 2,64 veces el rendimiento anual de las leguminosas, en 24% la respuesta de los nutrientes nativos del suelo y en 12% la respuesta de la urea, lo que contribuyó en promedio con el 23% del rendimiento de la pastura.
- La fertilización con urea redujo el rendimiento de las leguminosas nativas a razón de 11,13 kg de MS por kg de N aplicado. Registrando, con la dosis alta, una declinación del rendimiento de leguminosas y pastura a través del tiempo.
- Sin reposición de macronutrientes el rendimiento de leguminosas nativas declina con el paso del tiempo hasta su práctica desaparición; afectando sensiblemente el



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

rendimiento de la pastura. Igualmente, sin presencia de leguminosas nativas la reposición química de los macronutrientes no evita la declinación del rendimiento de la pastura a un nivel similar a lo alcanzado cuando no se reponen los nutrientes extraídos.

## REFERENCIAS

- Arosemena, E., Morales, R., y Sylvester-Bradley, R. (1990). *Evaluación de la necesidad de inocular, respuestas a la inoculación y a la aplicación de molibdeno en leguminosas forrajeras en suelos de la región central de Panamá*. In Sylvester-Bradley, R.; Kipe-Nolt, J.(eds.). *La simbiosis leguminosa-rizobio: Actas de un taller sobre evaluación, selección y manejo agronómico*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, CO. 134-147. [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/Digital/SB177.L45\\_S54\\_V.2\\_La\\_simbiosis\\_leguminosa-rizobio\\_Actas\\_de\\_un\\_taller\\_sobre\\_evaluaci%C3%B3n,\\_selecci%C3%B3n.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/SB177.L45_S54_V.2_La_simbiosis_leguminosa-rizobio_Actas_de_un_taller_sobre_evaluaci%C3%B3n,_selecci%C3%B3n.pdf)
- Arosemena, E., Urriola, D., Ríos, L., y Guerrero, B. (2014a). *Efecto de la aplicación de molibdeno en pasturas en dos sitios con historial diferente de degradación*. XV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología. Enfrentando Retos para el Avance de la Ciencia. 15-17 de octubre de 2014. Panamá. <http://apanac.org.pa/sites/default/files/Libro%20XV%20CONGRESO%20NACIONAL%20DE%20CIENCIA%20Y%20TECNOLOGIAV.pdf>
- Arosemena, E., Urriola, D., y Ríos, L. (2014b). *Composición florística de la pastura Según especie sembrada y manejo en la cuenca del río La Villa*. XV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología. Enfrentando Retos para el Avance de la Ciencia. 15-17 de octubre de 2014. Panamá. <http://apanac.org.pa/sites/default/files/Libro%20XV%20CONGRESO%20NACIONAL%20DE%20CIENCIA%20Y%20TECNOLOGIAV.pdf>
- Brennan, R. (2002). Valor residual de trióxido de molibdeno para la producción de trébol en un podzol arenoso ácido. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42(5), 565 – 570. <https://doi.org/10.1071/EA01066>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Del Pino, A., Repetto, C., Mori, C., y Perdomo, C. (2008). Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 26, 43-52.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v26n1/v26n1a6.pdf>

Espinosa, M., Marrugo, J., Hurtado, M., y Reza, S. (2012). Producción y pérdida de nitrato en *Brachiaria humidicola* y *Panicum maximum* en el valle del río Sinú. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(1), 55 - 61.

<https://www.redalyc.org/pdf/4499/449945032007.pdf>

Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe. (2016). *Una nueva Regionalización Climática de Panamá como aporte a la seguridad hídrica, trabajo de la División de Investigación Aplicada y Desarrollo*. Panamá. ISSN en trámite.

Centro Internacional de Agricultura Tropical. (1984). *Informe anual del programa de pastos tropicales*. 1983. Cali, Colombia.

Clarence, R. (1978). *Algunas causas comunes del fracaso de leguminosas y gramíneas tropicales en fincas comerciales y posibles soluciones*. In Tergas, L. y Sánchez, P. (eds) *Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, CO. p. 427-446.

[https://www.google.com.pa/books/edition/Produccion\\_De\\_Pastos\\_En\\_Suelos\\_Acidos\\_De/ZatLb6yNnygC?hl=es-419&qbpv=1&dq=producci%C3%B3n+de+pastos+en+suelos+acidos](https://www.google.com.pa/books/edition/Produccion_De_Pastos_En_Suelos_Acidos_De/ZatLb6yNnygC?hl=es-419&qbpv=1&dq=producci%C3%B3n+de+pastos+en+suelos+acidos)

Fernández-Pascual, M., De María, N., y De Felipe, M. (2002). *Fijación biológica del nitrógeno: factores limitantes*. Ciencia y Medio Ambiente - Segundas jornadas científicas sobre medio ambiente del CCMA-CSIC: 195-202

<https://digital.csic.es/bitstream/10261/128283/1/Fijaci%C3%B3n%20Biol%C3%B3gica391%28MC%20F%20Pascual%29.pdf>

Guevara, R., Figueredo, R., Curbelo, L., Guevara, G., Gálvez, M., y Soto, S. (2007). Persistencia de leguminosas nativas en fincas ganaderas y su influencia en el aporte



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

de nitrógeno y la producción de leche. II. Relaciones con los rendimientos de materia seca del pasto y la respuesta animal. *Revista producción animal*, 19(1), 31 - 35.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/268092727.pdf>

Pigurina, G., y Banchemo, G. (1992). *Estudio de casos de intoxicación por nitratos en vacas lecheras en el departamento de Colonia*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay. Hoja de Divulgación No 28, fecha 6/92.  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4957/1/Hoja-de-divulgacion-28-Produccion-animal-2.pdf>

Poultney, R., Pinzon, B., Sousa, S., y Gonzalez, J. (1986). Exploración de deficiencias minerales en diferentes localidades de Panamá (Invernadero) 1975-1980. *In* Pinzón, B; Montenegro, R. Comp. Resúmenes analíticos de la investigación pecuaria en Panamá (1968-1985). Panamá, PA. IDIAP. p. 39-40.

PROMIX. (2022). *Rol del molibdeno en el cultivo de plantas*.  
<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-molibdeno-en-el-cultivo-de-plantas/>

Instituto de Estadística y Censo de Panamá. (2011). *I-VII Censos Nacionales Agropecuarios de 1950-2011*. Panamá.  
[https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID\\_PUBLICACION=364&ID\\_CATEGORIA=15&ID\\_SUBCATEGORIA=60](https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID_PUBLICACION=364&ID_CATEGORIA=15&ID_SUBCATEGORIA=60)

International Molybdenum Association. (2022). *El Molibdeno- Esencial para la vida*. 12 p.  
[https://www.imoa.info/download\\_files/sustainability/Molibdeno\\_Esencialidad.pdf](https://www.imoa.info/download_files/sustainability/Molibdeno_Esencialidad.pdf)

Salina, J., y Gualdrón, R. (1982). *Adaptación y requerimientos de fertilización de Brachiaria humidicola (Rendle) Schweickt en la altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.  
<https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/71678/18394.pdf?sequence=1>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Sánchez, P., e Isbell, R. (1978). *Comparación entre suelos de los trópicos de América Latina y Australia*. In Tergas, L. y Sánchez (eds). *Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, CO. p. 29-58.

[https://www.google.com.pa/books/edition/Produccion\\_De\\_Pastos\\_En\\_Suelos\\_Acidos\\_De/ZatLb6yNnygC?hl=es-419&gbpv=1&dq=producci%C3%B3n+de+pastos+en+suelos+acidos](https://www.google.com.pa/books/edition/Produccion_De_Pastos_En_Suelos_Acidos_De/ZatLb6yNnygC?hl=es-419&gbpv=1&dq=producci%C3%B3n+de+pastos+en+suelos+acidos)

Serrao, E., Falesis, I., De Vega, J., y Teixeira, J. (1978). *Productividad de Praderas cultivadas en suelos de baja fertilidad en la amazonia de Brasil*. In Tergas, L. y Sánchez, P. (eds) *Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, CO. p. 211-241.

[https://www.google.com.pa/books/edition/Produccion\\_De\\_Pastos\\_En\\_Suelos\\_Acidos\\_De/ZatLb6yNnygC?hl=es-419&gbpv=1&dq=producci%C3%B3n+de+pastos+en+suelos+acidos](https://www.google.com.pa/books/edition/Produccion_De_Pastos_En_Suelos_Acidos_De/ZatLb6yNnygC?hl=es-419&gbpv=1&dq=producci%C3%B3n+de+pastos+en+suelos+acidos)

Zérega, L., y Hernández, T. (1998). Efectos del nitrógeno orgánico y mineral sobre el rendimiento de la caña de azúcar. *Bioagro*, 10(3), 63 - 67.

<http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/bioag/v10n3/articulo01.pdf>

Ramírez, C. A. (2003). *Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Panamá*. Documentos de Trabajo: Recursos Genéticos Forestales. FGR/50S Servicio de Desarrollo de Recursos Forestales, Dirección de Recursos Forestales, FAO, Roma. (Inédito). <https://www.fao.org/3/j0604s/j0604s00.htm>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)