

Efecto sinérgico de la aplicación de biofertilizante y fertilizante nitrogenado en pasturas**Synergistic effect of biofertilizer and nitrogen fertilizer application in pastures**

Francisco Adolfo Gutiérrez-León <https://orcid.org/0000-0002-9749-3467>, Soraya Patricia Alvarado-Ochoa <https://orcid.org/0000-0001-1234-5678>, Jaime Fabrizzio Reascos-Castillo <https://orcid.org/0000-0003-4714-9585>, Evelyn Nicole Ortiz-Flores <https://orcid.org/0000-0003-2635-9225>, Arnulfo Rigoberto Portilla-Narvaez <https://orcid.org/0000-0001-8665-1848> y Marco Antonio Rivera-Montesdeoca <https://orcid.org/0000-0003-0825-0699>

Universidad Central del Ecuador. Avenida Universitaria, Quito 170129, Ecuador. Correo electrónico: fgutierrez@uce.edu.ec*, spalvarado@uce.edu.ec, jfreescos@uce.edu.ec, enortiz@uce.edu.ec, arportilla@uce.edu.ec, nrivera@uce.edu.ec

Resumen

Objetivo: Evaluar la aplicación sinérgica de biofertilizante y fertilizante hidrosoluble en el rendimiento y la calidad de las pasturas bajo las condiciones edafoclimáticas de Tumbaco-Ecuador.

Materiales y Métodos: Se utilizó biofertilizante producido mediante fermentación anaerobia facultativa de los efluentes de vacas lecheras. Se evaluaron tres dosis de biofertilizante (0, 600; 1 200 L ha⁻¹ corte⁻¹) y tres dosis de fertilizante nitrogenado hidrosoluble (0; 10; 20 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹). Se empleó un diseño de bloques completamente al azar, con tres bloques y nueve tratamientos. Se analizaron las variables biomasa, proteína bruta e índice de vegetación diferenciada normalizado. Se efectuaron siete cortes en los meses de enero a julio.

Resultados: Los mejores resultados se obtuvieron cuando se utilizó el fertilizante nitrogenado y el biofertilizante de manera combinada. Se observaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) en las variables estudiadas. El tratamiento con 600 L y 20 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹ registró el mayor rendimiento de biomasa con 3 177 kg de materia seca ha⁻¹. La proteína bruta indicó valores de 21,6 % y el índice de vegetación diferenciada normalizado alcanzó valores de 0,89 cuando se utilizó 1 200 L ha⁻¹ corte⁻¹ y 20 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹.

Conclusiones: Los biofertilizantes tienen baja concentración de nutrientes, pero presentan un gran potencial, ya que mejoran la asimilación de los fertilizantes nitrogenados y se alcanzan buenos rendimientos y calidad de los pastos con dosis relativamente bajas de nitrógeno entre cortes.

Palabras clave: calidad, ganadería, producción

Abstract

Objective: To evaluate the synergistic application of biofertilizer and water-soluble fertilizer on the yield and quality of pastures under the soil and climate conditions of Tumbaco-Ecuador.

Materials and Methods: Biofertilizer produced by facultative anaerobic fermentation of dairy cow effluents was used. Three doses of biofertilizer (0, 600; 1 200 L ha⁻¹ cut⁻¹) and three doses of water-soluble nitrogen fertilizer (0; 10; 20 kg N ha⁻¹ cut⁻¹) were evaluated. A complete randomized block design was used, with three blocks and nine treatments. The variables biomass, crude protein and normalized difference vegetation index were analyzed. Seven cuts were made from January to July.

Results: The best results were obtained when nitrogen fertilizer and biofertilizer were used in combination. Statistical differences ($p < 0,05$) were observed in the studied variables. The treatment with 600 L and 20 kg N ha⁻¹ cut⁻¹ recorded the highest biomass yield with 3 177 kg dry matter ha⁻¹. Crude protein indicated values of 21,6 % and the normalized differentiated vegetation index reached values of 0,89 when 1 200 L ha⁻¹ cut⁻¹ and 20 kg N ha⁻¹ cut⁻¹ were used.

Conclusions: Biofertilizers have low nutrient concentration, but great potential, since they improve the assimilation of nitrogen fertilizers and good yields and pasture quality are achieved with relatively low doses of nitrogen between cuts.

Keywords: quality, animal husbandry, production

Introducción

La productividad de un cultivo está determinada por la interacción del potencial genético del cultivo, los factores ambientales y el manejo (Nair, 2019). Sin embargo, el nitrógeno (N) es un nutriente esencial y en la medida que el mejoramiento genético ha incrementado el potencial de rendimiento

de los cultivos, crece su demanda. Por lo tanto, la fertilización nitrogenada pasa a ser determinante de la variación del rendimiento (Hoffman *et al.*, 2016).

La fertilización nitrogenada es una práctica de manejo necesaria para una agricultura sustentable. No obstante, dado el costo de los fertilizantes nitrogenados y el impacto ambiental resultante de su aplicación

Recibido: 20 de febrero de 2023

Aceptado: 21 de junio de 2023

Como citar este artículo: Gutiérrez-León, Francisco Adolfo; Alvarado-Ochoa, Soraya Patricia; Reascos-Castillo, Jaime Fabrizzio; Ortiz-Flores, Evelyn Nicole; Portilla-Narvaez Arnulfo Rigoberto & Rivera-Montesdeoca, Marco Antonio. Efecto sinérgico de la aplicación de biofertilizante y fertilizante nitrogenado en pasturas. *Pastos y Forrajes*. 46:e14, 2023.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>. El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

es necesario desarrollar estrategias de manejo para mejorar la eficiencia de uso del N (Barbieri *et al.*, 2010). Muchas veces el uso intensivo de fertilizantes químicos excede los umbrales que requieren los cultivos y suelos, con la finalidad de aumentar los rendimientos (Liu *et al.*, 2017).

Con el desarrollo del método de fijación sintética del N y la obtención de fertilizantes nitrogenados a partir del gas natural, se sustituyó el uso de las leguminosas como fuente principal del N para los sistemas productivos (Escobar *et al.*, 2020).

En ese sentido, la agricultura sustentable es una práctica agrícola que promueve la salud del suelo, aumenta el rendimiento agrícola y reduce la contaminación de los suelos cultivables. Desde un punto de vista ecológico, el suelo es un hábitat dinámico para una enorme variedad de formas de vida (Wiesmeier *et al.*, 2019).

Al respecto, Etesami (2020) indica que se mejora la eficiencia de uso de los fertilizantes cuando se utilizan microorganismos benéficos del suelo. La abundancia de la macrofauna del suelo favorece una mayor producción y una menor contaminación ambiental en los agrosistemas, principalmente debido al aumento de la calidad del suelo (Sofo *et al.*, 2020).

Según Odoh *et al.* (2020), el uso de biofertilizantes, de formulaciones microbianas en materiales orgánicos portadores que mejoran la salud del suelo, el crecimiento y el desarrollo de los cultivos, ha ganado mucha aceptación. El manejo del suelo es la base de la agricultura y es esencial para la producción sostenible de forraje. Por consiguiente, las decisiones de fertilización de pasturas deben incluir metas de producción como de conservación (Silveira y Kohmann, 2020). Panpatte y Jhala (2019) sostienen que la fertilidad del suelo requiere estra-

tegias agronómicas y microbiológicas. En tanto, Maurya *et al.* (2020) mencionan que el suelo tiene componentes físicos, químicos y biológicos. Todos involucrados en su funcionamiento.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la aplicación sinérgica de biofertilizantes y fertilizantes hidrosolubles en el rendimiento y la calidad de las pasturas bajo las condiciones edafoclimáticas de Tumbaco-Ecuador.

Materiales y Métodos

Localización. El estudio tuvo lugar en el Campus Académico Docente Experimental La Tola (CADET), de la Facultad de Ciencias Agrícolas (FCAg) de la Universidad Central del Ecuador (UCE), ubicado en la parroquia Tumbaco del cantón Quito, provincia de Pichincha, a 2 465 msnm 00° 14' 46''S, 78° 22' 00''O.

Tratamientos y diseño experimental. Se aplicó un diseño de bloques completamente al azar, con tres bloques y nueve tratamientos (tabla 1). La unidad experimental se conformó con parcelas de 6 x 4 m.

Características edafoclimáticas. La precipitación promedio del sitio de estudio fue de 952 mm y la temperatura de 16,4 °C (INAMHI, 2022). Se realizó un estudio de suelos al inicio del experimento y después de siete meses de aplicación de los factores en estudio (tabla 2).

Procedimiento experimental. En el experimento se evaluaron tres dosis de biofertilizante (BF) (0; 600; 1 200 L ha⁻¹ corte⁻¹) y tres dosis de fertilizante nitrogenado (FN) (0; 10; 20 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹) más un testigo absoluto. El fertilizante y el biofertilizante se aplicaron siete días después del corte. La fuente de N utilizada fue el nitrato de amonio. También se suministraron cantidades complementarias de fósforo, potasio, magnesio, azufre y los microelementos boro

Tabla 1. Dosis de biofertilizante y fertilizante nitrogenado (nitrato de amonio).

| Tratamiento | Biofertilizante L ha ⁻¹ corte ⁻¹ | Fertilización nitrogenada kg de N ha ⁻¹ corte ⁻¹ |
|-------------|---|---|
| T1 | 600 | 0 |
| T2 | 1200 | 0 |
| T3 | 0 | 10 |
| T4 | 0 | 20 |
| T5 | 600 | 10 |
| T6 | 600 | 20 |
| T7 | 1200 | 10 |
| T8 | 1200 | 20 |
| T0 | 0 | 0 |

Tabla 2. Análisis del suelo a una profundidad de 20 cm.

| Indicador | pH | MOS | Nitrógeno, total | P | K |
|--|------|------|------------------|------|------|
| | | % | % | ppm | ppm |
| Análisis inicial | 7,31 | 0,6 | 0,03 | 34,2 | 0,31 |
| Fertilizante nitrogenado | 6,62 | 1,59 | 0,08 | 43,9 | 1,55 |
| Fertilizante nitrogenado x biofertilizante | 6,69 | 2,31 | 0,12 | 24,2 | 1,32 |
| Biofertilizante | 6,95 | 2,66 | 0,13 | 32,7 | 1,56 |
| Testigo | 7,23 | 0,92 | 0,04 | 27,5 | 0,95 |

MOS: Materia orgánica del suelo

y zinc, de acuerdo con el requerimiento del cultivo y el análisis de suelos. Los nutrientes se aplicaron en el momento de la siembra.

El BF se obtuvo mediante la fermentación anaerobia facultativa de los residuos (estiércol y orina) del establo en el momento del ordeño. Se construyó una piscina para la fermentación anaerobia facultativa y otra para la recolección del biofertilizante (fig. 1). La caracterización del biofertilizante utilizado se muestra en la tabla 3.

Se establecieron parcelas con una mezcla forrajera compuesta de 110 g de *Lolium perenne* L. (raigrás perenne), 35 g de *Cichorium intybus* L. (achicoria) y 35 g de *Trifolium pratense* L. (trébol blanco). Se sembraron en surcos, separados por una

distancia de 10 cm y a una profundidad de 2 cm. Se evaluaron siete cortes, con un intervalo de 28 días, tiempo en el que fisiológicamente el pasto en las condiciones agroclimáticas del experimento llega a su punto máximo de crecimiento, sin que empiece la senescencia de sus hojas (Berone, 2016). Las parcelas se mantuvieron a capacidad de campo con un sistema de riego por aspersión. El experimento se condujo entre enero y julio.

Mediciones. Se evaluaron las variables producción de biomasa, proteína (PB) y el índice de vegetación normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés). La producción de biomasa se determinó por el método del cuadrante (0,3 x 0,3 m) y se hizo un muestreo al azar en las parcelas. Se recolectó toda

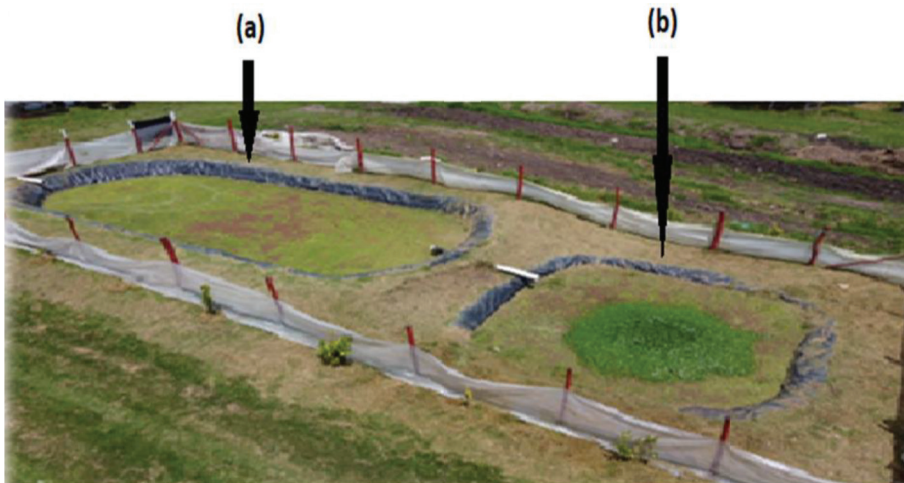


Figura 1. Piscinas de fermentación anaerobia facultativa; (a) tratamiento de aguas residuales de establo (orina y heces); (b) biofertilizante.

Tabla 3. Contenido de nutrientes, conductividad eléctrica y pH del biofertilizante.

| pH | CE | N | P | K | Ca | Mg | Fe | Mn |
|------|-----------------------|----|----|-------|----------------------|------|------|------|
| | $\mu\text{S cm}^{-1}$ | | | | (mg L^{-1}) | | | |
| 7,38 | 1,01 | 45 | 17 | 232,7 | 32,5 | 18,9 | 0,91 | 0,41 |

la materia verde mediante un corte rasante. Se determinó el contenido de materia seca (MS) y se calculó la producción total por hectárea (kg de MS ha⁻¹), según la metodología propuesta por Hall (2009).

El análisis de proteína se realizó en la misma muestra de MS, molida y tamizada en una malla de 750 µm a través del método semimicro Kjeldahl, (método oficial de referencia AOAC 2001.11). El resultado se expresó en porcentaje (Thiex *et al.*, 2002).

Para determinar el NDVI se utilizó el equipo GreenSeeker. El sensor emplea una tecnología para medir la reflectancia de los cultivos y calcular el NDVI:

$$\text{NDVI} = (\rho \text{ RIC} - \rho \text{ Rojo}) / (\rho \text{ RIC} + \rho \text{ Rojo})$$

Donde ρ RIC es la fracción de radiación infrarroja cercana emitida, que regresa del área detectada (reflectancia), y ρ rojo es la fracción de radiación roja emitida que regresa del área detectada (reflectancia). Estos datos se utilizan en un algoritmo y se determina un valor entre 0 y 1 (Walsh *et al.*, 2013).

Análisis estadístico. Se realizó el análisis de varianza previa la comprobación de los supuestos de homocedasticidad con la prueba de Levene

y normalidad con la prueba de *Shapiro-Wilks* modificado. Se aplicó la prueba de Tukey para la separación de medias de las variables que indicaron significación estadística ($p < 0,05$) entre tratamientos. Se utilizó el programa INFOSTAT.

Resultados y Discusión

Biomasa. Para el factor BF no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos. No obstante, el factor FN mostró diferencias estadísticas ($p < 0,05$). Los tratamientos con 10 y 20 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹ fueron los de mayor rendimiento de biomasa (2 515 y 2 688 kg de MS ha⁻¹ corte⁻¹, respectivamente) con respecto a 0 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹ (1 745 kg de MS ha⁻¹ corte⁻¹).

La interacción entre BF x FN mostró diferencias estadísticas ($p < 0,05$) e indicó tres rangos de significancia: el rango más alto se asoció con 20 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹ y 600 L de BF ha⁻¹ corte⁻¹ que alcanzó 3 177 kg de MS ha⁻¹ corte⁻¹. El más bajo se alcanzó cuando se aplicó únicamente 600 L de BF ha⁻¹ corte⁻¹ y con el testigo, con rendimientos de 1 647 y 1 542 kg de MS ha⁻¹ corte⁻¹, respectivamente (tabla 4).

Tabla 4. Efecto del biofertilizante y el fertilizante nitrogenado en la biomasa.

| Factor | Dosis | kg de MS ha ⁻¹ corte ⁻¹ | Valor - P |
|--------------------------|--------------------------|---|-----------|
| Biofertilizante | 0 | 1 682 | 0,159 |
| | 600 | 1 946 | |
| | 1 200 | 1 862 | |
| Fertilizante nitrogenado | 0 | 1 745 ^b | 0,0001 |
| | 10 | 2 515 ^a | |
| | 20 | 2 688 ^a | |
| Interacción | | | |
| Biofertilizante | Fertilizante nitrogenado | kg de MS ha ⁻¹ corte ⁻¹ | Valor - P |
| 600 | 20 | 3 177 ^a | 0,0459 |
| 1 200 | 20 | 2 590 ^{ab} | |
| 600 | 10 | 2 566 ^{ab} | |
| 0 | 10 | 2 548 ^{ab} | |
| 1 200 | 10 | 2 432 ^{ab} | |
| 0 | 20 | 2 297 ^{bc} | |
| 1 200 | 0 | 2 048 ^{bcd} | |
| 600 | 0 | 1 647 ^{cd} | |
| 0 | 0 | 1 542 ^d | |
| Media | | 2 081 | |
| CV, % | | 30,0 | |

Letras diferentes en misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

Orozco-Corral *et al.* (2016) señalan que los abonos orgánicos constituyen una alternativa para sustituir la fertilización inorgánica. Esto se debe a que estos abonos abastecen al suelo no solo de un único nutriente, como en este caso el N, sino que aportan también otros elementos esenciales. Además, los biofertilizantes pueden influir en la síntesis de reguladores del crecimiento, como las auxinas y las giberelinas, que producen un aumento en el desarrollo de los pelos radicales y en la densidad, lo que otorga a la planta mayor viabilidad, productividad y resistencia a las condiciones adversas como la sequía (Saharan y Nehra, 2011).

Wallace *et al.* (2009) observaron que la aplicación de biofertilizantes mejora el almacenamiento de carbono (C) en el suelo, la retención de agua, la disponibilidad de nutrientes, y en última instancia, la salud general de los pastos perennes. El uso combinado de biofertilizantes y fertilizantes puede reducir en 17 % la huella de C en comparación con el uso únicamente de fertilizantes (Neves *et al.*, 2017).

De acuerdo con Tilman *et al.* (1996), un factor que está relacionado con la fertilidad de los suelos, la producción de la pradera y su calidad, es la asociación de especies. Para estos autores, la sostenibilidad de los ciclos de nutrientes del suelo y, por lo tanto, de la fertilidad depende de la biodiversidad. Furey y Tilman (2021) sugieren que las reservas de C del suelo y su fertilidad mejoran con la diversidad de plantas. Se comprobó que cuando hay pastos, leguminosas y otras especies, se acumula significativamente más N, K, Ca y Mg en el conjunto total de nutrientes (biomasa vegetal y suelo) respecto a las parcelas que contenían solo uno de estos tres grupos funcionales. Castro *et al.* (2009), refirieron que los animales que pastorearon asociaciones de gramíneas y leguminosas mostraron mejor eficiencia en el uso de los fertilizantes nitrogenados que aquellos que pastorearon praderas de gramíneas mixtas fertilizadas con nitrógeno.

Proteína bruta. El análisis de la PB indicó diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para BF. Con aplicaciones de 600 y 1 200 L ha⁻¹ corte⁻¹ se alcanzó 18,5 y 19,2 % de PB respectivamente, y 17,8 % cuando no se aplicó BF. El análisis estadístico también mostró diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para FN. El valor más alto (19,9 % de PB) se tuvo con la dosis de 20 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹, seguido de 10 kg de ha⁻¹ corte⁻¹ con 18,4 %. La concentración de PB disminuyó a 17,2 % cuando no se aplicó BF. La interacción entre BF x FN fue significativa ($p < 0,05$). Se obtuvieron cuatro rangos de significancia. La concentración

más alta de PB (21,6 %) se registró cuando se aplicó 1 200 L ha⁻¹ corte⁻¹ y 20 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹ ante los valores más bajos de PB (16,9 y 16,5 %), asociados con 600 L ha⁻¹ corte⁻¹ y 0 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹ y el testigo, respectivamente (tabla 5).

Lorentz *et al.* (2020) demostraron que la fertilización biológica mejora la concentración de N en las pasturas. También Lopes *et al.* (2020) refieren que los fertilizantes biológicos mejoran la concentración de clorofila, la tasa fotosintética y la eficiencia en el uso del agua, así como el contenido total de carbohidratos y de proteína en las pasturas. Estos fertilizantes biológicos tienen un efecto sinérgico en la fijación de N y la liberación de P en el suelo y mejoran la calidad del forraje (Oberoi *et al.*, 2020). Vishnu *et al.* (2022) aseguran que potencializan la producción de biomasa y la concentración de proteína en las pasturas.

En esta investigación se utilizaron mezclas de gramíneas y leguminosas. Según Bergqvist (2021), el aumento de la proteína en la mezcla se debe al aporte de la leguminosa. Hubo cambios en el contenido de proteína en una mezcla de *L. perenne* y *T. pratense*, lo que obedeció a las modificaciones que tiene el *T. pratense* en la mezcla (Weller y Cooper, 2008). La proporción de leguminosas en una mezcla de *L. perenne* y *T. pratense* se relaciona con el contenido de PB que puede alcanzar (Bakhtiyari *et al.*, 2020). La implementación de los biofertilizantes como una estrategia de manejo en la fertilización aporta microelementos, como el boro y molibdeno, los que son importantes para las leguminosas, pues potencializan su crecimiento (Churkova, 2019).

Índice de vegetación normalizado diferenciado. En el análisis de varianza del NDVI no se observaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre los tratamientos para los días 1 y 7 postcorte. No obstante, el día 7 se realizaron las aplicaciones de BF y FN en cada uno de los tratamientos. Por tanto, los resultados de las aplicaciones sobre el NDVI se manifiestan a partir del día 14 postcorte, cuando se observaron diferencias estadísticas para FN. Las dosis 10 y 20 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹ fueron las que mayores valores de NDVI (0,83 y 0,84 en el mismo orden) alcanzaron en comparación con 0 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹, que tuvo el valor más bajo (0,8). No se encontraron diferencias estadísticas para BF ni para la interacción (tabla 6).

En el día 21 postcorte se registraron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para BF, FN y la interacción BF x FN. El valor más alto de NDVI (0,87) se obtuvo cuando se aplicó 1 200 L ha⁻¹ corte⁻¹ ante el

Tabla 5. Efecto del biofertilizante y el fertilizante nitrogenado convencional en el contenido de la proteína bruta, %.

| Factor | Dosis | Proteína bruta | Valor - P |
|--------------------------|--------------------------|---------------------|-----------|
| Biofertilizante | 0 | 17,8 ^b | 0,0114 |
| | 600 | 18,5 ^{ab} | |
| | 1200 | 19,2 ^a | |
| Fertilizante nitrogenado | 0 | 17,2 ^c | 0,0001 |
| | 10 | 18,4 ^b | |
| | 20 | 19,9 | |
| Interacción | | | |
| Biofertilizante | Fertilizante nitrogenado | Proteína bruta | Valor - P |
| 1200 | 20 | 21,6 ^a | 0,0037 |
| 600 | 10 | 19,7 ^{ab} | |
| 600 | 20 | 19,1 ^{bc} | |
| 0 | 20 | 19,0 ^{bc} | |
| 1200 | 0 | 18,2 ^{bcd} | |
| 0 | 10 | 17,9 ^{bcd} | |
| 1200 | 10 | 17,8 ^{bcd} | |
| 600 | 0 | 16,9 ^{cd} | |
| 0 | 0 | 16,5 ^d | |
| Media | | 18,4 | |
| CV, % | | 8,8 | |

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$).

CV: Coeficiente de variación

testigo, que indicó el valor más bajo (0,85). El valor más alto de NDVI (0,87) se observó con las dosis de 10 y 20 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹ y el testigo (0,84) estuvo en el rango más bajo. En la interacción BF x FN se obtuvieron tres rangos de significancia. Los valores de NDVI más altos (0,88) se alcanzan con las aplicaciones combinadas de los dos factores en estudio. En el día 28 postcorte, se observaron diferencias estadísticas ($p < 0,05$) para BF, FN y la interacción BF x FN. Sin embargo, es importante remarcar que los valores de NDVI no superaron los registrados con anterioridad al día 27 postcorte. Los valores más altos de NDVI (0,88 y 0,87) se observaron cuando se aplicó 600 o 1 200 L ha⁻¹ corte⁻¹ en el mismo orden frente al testigo. Los valores altos de NDVI (0,88) estuvieron asociados con las dosis de 10 y 20 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹ frente a la dosis de 0 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹ con NDVI de 0,85. En la interacción BF x FN no se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos a excepción del control.

El NDVI tiene una estrecha relación con el rendimiento de los cultivos (Guan *et al.*, 2019) y es una herramienta para determinar el estado nutricional y

la fertilización nitrogenada (Edalat *et al.*, 2019). El NDVI muestra, en forma general, el estado de salud de una planta (Mahajan y Bundel, 2016). Sharma y Bali (2018) señalaron que el NDVI se puede utilizar para la evaluación del crecimiento de las plantas y el color de las hojas, puesto que solo analiza las hojas verdes y deprecia las muertas.

En general, los cultivos “sanos” absorben la mayor parte de la radiación del espectro del rojo, mientras que reflejan la mayor parte de la radiación del infrarrojo cercano y como resultado los valores de NDVI son cercanos a 1 (Pino, 2019). En la presente investigación se observaron valores aceptables a partir del día 21 postcorte, cuando se registraron valores de 0,86. Al respecto, Gutiérrez-Soto *et al.* (2011) mencionan que los valores entre 0,7 y 0,8 son indicadores de plantas que se encuentran en las mejores condiciones. Por su parte, valores superiores a 0,8 de NDVI representan el potencial máximo del rendimiento de un cultivo (Grohs *et al.*, 2009).

El uso de NDVI es mejor cuando la pastura es baja. Mientras, si la pastura es alta, los valores se

Tabla 6. Efecto de los tratamientos biofertilizantes y fertilizantes nitrogenado sobre el NDVI en función de los días post corte.

| | Dosis | 0 | | 7 | | 14 | | 21 | | 28 | |
|-------|-------|------|-----------|------|-----------|-------------------|-----------|--------------------|-----------|-------------------|-----------|
| | | NDVI | Valor - P | NDVI | Valor - P | NDVI | Valor - P | NDVI | Valor - P | NDVI | Valor - P |
| BF | 0 | 0,71 | | 0,74 | | 0,81 | | 0,85 ^b | | 0,86 ^b | |
| | 600 | 0,72 | 0,72 | 0,77 | 0,06 | 0,83 | 0,067 | 0,86 ^{ab} | 0,046 | 0,87 ^a | 0,0003 |
| | 1200 | 0,72 | | 0,77 | | 0,83 | | 0,87 ^a | | 0,88 ^a | |
| FN | 0 | 0,71 | | 0,75 | 0,25 | 0,80 ^b | | 0,84 ^b | | 0,85 ^b | |
| | 10 | 0,72 | 0,32 | 0,77 | | 0,83 ^a | 0,004 | 0,87 ^a | 0,0001 | 0,88 ^a | 0,0001 |
| Media | 20 | 0,7 | | 0,75 | | 0,84 ^a | | 0,87 ^a | | 0,88 ^a | |
| BF | FN | NDVI | Valor -P | NDV | Valor-P | NDVI | Valor-P | NDVI | Valor-P | NDVI | Valor-P |
| 1200 | 20 | 0,7 | | 0,77 | | 0,84 | | 0,88 ^a | | 0,89 ^a | |
| 600 | 20 | 0,71 | | 0,77 | | 0,84 | | 0,88 ^a | | 0,88 ^a | |
| 1200 | 10 | 0,72 | | 0,77 | | 0,84 | | 0,86 ^a | | 0,88 ^a | |
| 600 | 10 | 0,73 | | 0,78 | | 0,83 | | 0,87 ^{ab} | | 0,88 ^a | |
| 0 | 20 | 0,69 | 0,86 | 0,73 | 0,79 | 0,82 | 0,12 | 0,86 ^{ab} | 0,0004 | 0,86 ^a | 0,0001 |
| 0 | 10 | 0,72 | | 0,76 | | 0,85 | | 0,88 ^a | | 0,86 ^a | |
| 1200 | 0 | 0,73 | | 0,77 | | 0,82 | | 0,86 ^{ab} | | 0,88 ^a | |
| 600 | 0 | 0,71 | | 0,77 | | 0,81 | | 0,84 ^{bc} | | 0,86 ^a | |
| 0 | 0 | 0,7 | | 0,72 | | 0,77 | | 0,82 ^{bc} | | 0,82 ^b | |
| Media | | 0,71 | | 0,75 | | 0,82 | | 0,86 | | 0,86 | |
| CV, % | | 9,04 | | 7,87 | | 5,21 | | 2,63 | | 2,53 | |

NDVI: Índice de vegetación normalizado diferenciado; BF: Biofertilizante; FN: Fertilización Nitrogenada
 Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos de fertilización ($p < 0,05$).

pueden saturar entre 0,8 y 0,9 (Wigley *et al.*, 2019). El NDVI podría presentar puntos de saturación, en dependencia de la especie de pasto, el contenido de clorofila y la morfología de las plantas (Trotter *et al.*, 2010). Además, el NDVI no se relaciona bien con las acumulación de biomasa superior a 3 500 kg de MS ha⁻¹ (Insua *et al.*, 2016). Ello tiene relación con los pocos cambios registrados el día 28 post-corte, ya que los datos de NDVI se encontraron entre 0,89 y 0,86 en los tratamientos evaluados. No obstante, se observaron más cambios al analizar la biomasa.

Serrano *et al.* (2018) demostraron que el NDVI detecta los altos niveles de clorofila (vegetación fotosintéticamente activa), que es abundante en la vegetación verde, y disminuye al madurar la pastura y comenzar la senescencia de las hojas. Asimismo, este índice es particularmente sensible a las variaciones de N a nivel foliar (Vergara-Díaz *et al.*, 2016) y a las variaciones en la arquitectura de la canopea (Gitelson *et al.*, 2002).

Conclusiones

Los mejores resultados de biomasa, proteína bruta y el índice de vegetación normalizado se obtuvieron cuando se utilizó fertilizantes nitrogenados y biofertilizantes de manera combinada, con el mayor rendimiento de biomasa (3 177 kg de MS ha⁻¹) asociado con el tratamiento de 600 L y 20 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹ y los mayores valores de proteína bruta (21,6 %) y de NDVI (0,89) con el tratamiento de 1 200 L y 20 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹.

Los biofertilizantes, tienen baja concentración de nutrientes, pero presentan un gran potencial, ya que mejoran la asimilación de los fertilizantes nitrogenados y se alcanzan buenos rendimientos y calidad de los pastos con dosis relativamente bajas de nitrógeno entre cortes.

Agradecimientos

Se agradece a la Facultad de Ciencias Agrícolas y Comisión de Investigación de la Universidad Central del Ecuador por haber financiado el proyecto

de investigación, a los estudiantes de la cátedra de Pastos y Forrajes, quienes apoyaron con el manejo de las parcelas de investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores

- Francisco Adolfo Gutiérrez-León. Registro de datos en campo con sensores Greenseeker para NDVI, determinación de materia seca, manejo de parcelas y piscinas biofertilizantes, análisis estadístico y escritura del manuscrito.
- Soraya Patricia Alvarado-Ochoa. Análisis de suelos y escritura del manuscrito.
- Jaime Fabrizio Reascos-Castillo. Manejo de parcelas y muestreo.
- Evelyn Nicole Ortiz-Flores. Manejo de piscinas y muestreo.
- Arnulfo Rigoberto Portilla-Narvaez. Análisis de proteína y biofertilizantes.
- Marco Antonio Rivera-Montesdeoca. Análisis de suelos y biofertilizantes.

Referencias bibliográficas

- Bakhtiyari, F.; Zamanian, M. & Golzardi, F. Effect of mixed intercropping of clover on forage yield and quality. *South-West. J. Hort. Biol. Environ.* 11 (1):e20105. https://biozoojournals.ro/swjhbe/v11n1/swjhbe_e20105_Farzaneh.pdf, 2020.
- Barbieri, P. A.; Echeverría, H. E.; Sainz-Rozas, H. R. & Maringolo, M. Fertilización de maíz con urea de liberación lenta: pérdida por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno. *Ci. Suelo.* 28 (1): 57-66. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672010000100007, 2010.
- Bergqvist, Sanna. Long-term effects of cropping system on red clover proportion and crude protein concentration in mixed leys. Uppsala, Sweden: Department of Crop Production Ecology, Swedish University of Agricultural Sciences. https://stud.epsilon.slu.se/17423/3/bergqvist_s_211208.pdf, 2021.
- Berone, G. *Ecofisiología aplicada al manejo de pasturas*. Argentina: INTA, 2016.
- Castro, E.; Mojica, J. E.; León, J.; Pabón, Martha; Carrulla, J. & Cárdenas, E. Balance de nitrógeno en pastura de gramíneas y pastura de gramínea más *Lotus uliginosus* en la sabana de Bogotá, Colombia. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecuaria.* 10 (1):91-101. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449945026009>, 2009.
- Churkova, Boryana. Impact of humate biofertilizers on the basic chemical composition of grass biomass of bird's-foot-trefoil, red clover and sainfoin. *Trakia J. Sci.* 17 (4):363-370, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15547/tjs.2019.04.012>.
- Edalat, M.; Naderi, R. & Egan, T. P. Corn nitrogen management using NDVI and SPAD sensor-based data under conventional vs. reduced tillage systems. *J. Plant Nutr.* 42 (18):2310-2322, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1648686>.
- Escobar, María I.; Navas-Panadero, A.; Medina, Claudia A.; Corrales-Álvarez, J. D.; Tenjo, Ana I. & Borrás-Sandoval, L. M. Efecto de prácticas agroecológicas sobre características del suelo en un sistema de lechería especializada del trópico alto colombiano. *LRRD.* 32 (4). <http://www.lrrd.org/lrrd32/4/maria.es32058.html>, 2020.
- Etesami, H. Enhanced phosphorus fertilizer use efficiency with microorganisms. In: R. S. Meena, ed. *Nutrient dynamics for sustainable crop production*. Singapore: Springer. p. 215-245, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2_8.
- Furey, G. N. & Tilman, D. Plant biodiversity and the regeneration of soil fertility. *PNAS.* 118 (49):e2111321118, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2111321118>.
- Gitelson, A. A.; Kaufman, Y. J.; Stark, R. & Rundquist, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sens. Environ.* 80 (1):76-87, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9).
- Grohs, D. S.; Bredemeier, C.; Mundstock, C. M. & Poletto, Naracelis. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor Greenseeker. *Eng. Agríc.* 29 (1):101-112, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000100011>.
- Guan, S.; Fukami, K.; Matsunaka, H.; Okami, M.; Tanaka, R.; Nakano, H. *et al.* Assessing correlation of high-resolution NDVI with fertilizer application level and yield of rice and wheat crops using small UAVs. *Remote Sens.* 11 (2):112, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11020112>.
- Gutiérrez-Soto, M. V.; Cadet-Piedra, E.; Rodríguez-Montero, W. & Araya-Alfaro, J. M. El GreenSeeker™ y el diagnóstico del estado de salud de los cultivos. *Agron. Mesoam.* 22 (2):397-403. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212011000200016&lng=en&tlng=es, 2011.
- Hall, Mary B. Determination of starch, including maltoligosaccharides, in animal feeds: comparison of methods and a method recommended for AOAC collaborative study. *J. AOAC Int.* 92 (1):42-49, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1093/jaoac/92.1.42>.
- Hoffman, E. M.; Fassana, N. C.; Mazzilli, S.; Berger, A. & Ernst, O. La necesidad de incrementar la eficiencia de uso del nitrógeno en cereales de invierno. *Fertilizar.* 24:3-7. <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2016/12/2.pdf>, 2016.

- INAMHI. *Características edafoclimáticas*. Quito: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. <https://www.inamhi.gob.ec/>, 2022.
- Insua, J.; Utsumi, S. Nuevas tecnologías para el monitoreo de pasturas. *Visión Rural*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/80888?show=full>, 2016.
- Liu, Z.; Rong, Q.; Zhou, W. & Liang, G. Effects of inorganic and organic amendment on soil chemical properties, enzyme activities, microbial community and soil quality in yellow clayey soil. *PLoS ONE*. 12 (3):e0172767, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172767>.
- Lopes, M. J. dos S.; Dias-Filho, M. B.; Castro, T. H. dos R.; Silva, E. F. da; Rêgo, Marcela C. F. & Silva, Gisele B. da. Impacts of plant growth-promoting Rhizobacteria on tropical forage grass in Brazil. *J. Agric. Stud.* 8 (1):342-356, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5296/jas.v8i1.16077>.
- Lorentz, Juliana F.; Calijuri, Maria L.; Assemany, Paula P.; Alves, W. S. & Pereira, O. G. Microalgal biomass as a biofertilizer for pasture cultivation: Plant productivity and chemical composition. *J. Clean. Prod.* 276:124130-122020, 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124130>.
- Mahajan, U. & Bundel, B. R. Drones for normalized difference vegetation index (NDVI), to estimate crop health for precision agriculture: A cheaper alternative for spatial satellite sensors. G. C. Mishra, ed. *Proceedings International Conference on Innovative Research in Agriculture, Food Science, Forestry, Horticulture, Aquaculture, Animal Science, Biodiversity, Ecological Sciences and Climate Change*. Krishi Sanskriti Publications, New Delhi. p. 38-41. <https://www.researchgate.net/publication/312497233>, 2016.
- Maurya, Swati; Jeeva S, Abraham; Somasundaram, Sripoorna; Toteja, R.; Gupta, Renu & Makhija, Seema. Indicators for assessment of soil quality: a mini-review. *Environ. Monit. Assess.* 28 (9):604, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08556-z>.
- Nair, K. P. Soil fertility and nutrient management. In: K. P. Nair, ed. *Intelligent soil management for sustainable agriculture: The nutrient buffer power concept*. Cham, Germany: Springer International Publishing. p. 165-189, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-15530-8_17.
- Neves, T. I.; Uyeda, C. A.; Carvalho, Monica & Abrahão, R. Environmental evaluation of the life cycle of elephant grass fertilization—*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone—using chemical fertilization and biosolids. *Environ. Monit. Assess.* 190 (1):30, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6406-4>.
- Oberoi, H. K.; Pandove, Gulab & Kaur, Anureet. Effect of pre-sowing seed inoculation with liquid biofertilizers on fodder yield and quality of sorghum (*Sorghum bicolor*). *Indian J. Agron.* 65 (1):100-106. <https://indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ija&volume=65&issue=1&article=015>, 2020.
- Odoh, C. K.; Sam, K.; Zabbey, N.; Eze, C. N.; Nwankwegu, A. S.; Laku, Charity *et al.* Microbial consortium as biofertilizers for crops growing under the extreme habitats. In: A. N. Yadav, J. Singh, A. A. Rastegari and N. Yadav, N., eds. *Plant microbiomes for sustainable agriculture*. Cham, Germany: Springer International Publishing. p. 381-424, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-38453-1_13.
- Orozco-Corral, A. L.; Valverde-Flores, Martha I.; Martínez-Téllez, R.; Chávez-Bustillos, C. & Benavides-Hernández, R. Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinoam.* 34 (4):441-456. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000400441&lng=es&tlng=, 2016.
- Panpatte, D. G. & Jhala, Y. K., Eds. *Soil fertility management for sustainable development*. Singapore: Springer, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-5904-0>.
- Pino., E. Drones a tool for efficient agriculture: a high-tech future. *Idesia.* 37 (1):75-84, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019005000402>.
- Saharan, B. S. & Nehra, V. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. *Life Sci. Med. Res.* 21:LSMR-21. <https://www.researchgate.net/publication/284340739>, 2011.
- Serrano, J.; Shahidian, S. & Silva, J. M. da. Monitoring seasonal pasture quality degradation in the Mediterranean montado ecosystem: Proximal versus remote sensing. *Water.* 10:1422, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10101422>.
- Sharma, L. K. & Bali, S. K. A review of methods to improve nitrogen use efficiency in agriculture. *Sustainability.* 10:51, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10010051>.
- Silveira, Maria L. & Kohmann, Marta M. Maintaining soil fertility and health for sustainable pastures. In: Monte Rouquette and Glen E. Aiken, eds. *Management strategies for sustainable cattle production in southern pastures*. USA: Academic Press. p. 35-58, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814474-9.00003-7>.
- Sofo, A.; Mininni, Alba N. & Ricciut, Patrizia. Soil macrofauna: A key factor for increasing soil fertility and promoting sustainable soil use in fruit orchard agrosystems. *Agronomy.* 10:456, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10040456>.
- Thiex, Nancy J.; H. Manson, Shirley Andersson & Persson, J.-A. Determination of crude protein in animal feed, forage, grain, and oilseeds by using

- block digestion with a copper catalyst and steam distillation into boric acid: collaborative study. *J. AOAC Int.* 85 (2):309-317. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11990013/>, 2002.
- Tilman, D.; Wedin, D. & Knops, J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature.* 379 (6567):718-720, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1038/379718a0>.
- Trotter, M. G.; Lamb, D. W.; Donald, G. E. & Schneider, D. A. Evaluating an active optical sensor for quantifying and mapping green herbage mass and growth in a perennial grass pasture. *Crop Pasture Sci.* 61 (5):389-398, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1071/CP10019>.
- Vergara-Díaz, O.; Zaman-Allah, M. A.; Masuka, B.; Hornero, A.; Zarco-Tejada, P.; Prasanna, B. M. *et al.* A novel remote sensing approach for prediction of maize yield under different conditions of nitrogen fertilization. *Front. Plant Sci.* 7:666, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00666>.
- Vishnu, P.; Yasasvi, B. & Tarate, S. B. Influence of biofertilizers on millet production. *The Pharma Innovation Journal.* 11 (2):950-953. <https://www.thepharmajournal.com/archives/?year=2022&vol=11&issue=2&ArticleId=10656>, 2022.
- Wallace, B. M.; Krzic, Maja; Forge, T. A; Broersma, K. & Newman, R. F. Biosolids increase soil aggregation and protection of soil carbon five years after application on a crested wheatgrass pasture. *J. Environ. Qual.* 38 (1):291-298, 2009. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0608>.
- Walsh, Olga S.; Klatt, A. R.; Solie, J. B.; Godsey, C. B. & Raun, W. R. Use of soil moisture data for refined GreenSeeker sensor based nitrogen recommendations in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Precis. Agric.* 14 (3):343-356, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9299-9>.
- Weller, R. F. & Cooper, A. Seasonal changes in the crude protein concentration of mixed swards of white clover/perennial ryegrass grown without fertilizer N in an organic farming system in the United Kingdom. *Grass Forage Sci.* 56 (1):92-95, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2001.00248.x>.
- Wiesmeier, M.; Urbanski, Livia; Hobley, Eleanor; Lang, Birgit; Lützw, Margit von; Marin-Spiotta, Erika *et al.* Soil organic carbon storage as a key function of soils - A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma.* 333:149-162, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026>.
- Wigley, Kathryn; Owens, Jennifer L.; Westerschulte, M.; Riding, P.; Fourie, J. & Werner, A. Photogrammetry for assessment of pasture biomass. *J. N. Z. Grassl.* 81:33-40, 2019. DOI: <https://doi.org/10.33584/jnzc.2019.81.394>.