

Efecto de la fertilización nitrogenada en el crecimiento de cinco pastos perennes en Ecuador Effect of nitrogen fertilization on the growth of five perennial pastures in Ecuador

Brenda Pamela Benalcázar-Carranza <https://orcid.org/0000-0001-7504-5498>, Vanessa Carolina López-Caiza <https://orcid.org/0000-0002-0594-2094>, Francisco Adolfo Gutiérrez-León <https://orcid.org/0000-0002-9749-3467>, Soraya Alvarado-Ochoa <https://orcid.org/0000-0003-4710-8281> y Arnulfo Rigoberto Portilla-Narváez <https://orcid.org/0000-0001-8665-1848>

Universidad Central del Ecuador, Avenida Universitaria. Quito 170129, Ecuador. Correo electrónico: fgutierrez@uce.edu.ec

Resumen

Objetivo: Evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada en el crecimiento y el contenido de proteína bruta de cinco pastos perennes en Ecuador.

Materiales y Métodos: Para evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada en el crecimiento y el contenido de proteína bruta de las especies *Lolium perenne* L. var. Alto, *Lolium perenne* x *Lolium multiflorum* var. Shogun, *Festuca arundinacea* Schreb var. Alta Barolex, *Dactylis glomerata* L. var. Quick Draw y *Festuca arundinacea* x *Lolium multiflorum* var. Premium, se aplicaron seis dosis progresivas de nitrógeno (0, 70, 140, 210, 280 y 350 kg de N ha⁻¹ año⁻¹). Se utilizó un diseño de parcelas divididas, donde se ubicó la especie en la parcela grande, y las dosis de nitrógeno en las pequeñas, con tres repeticiones. Se evaluaron las variables producción de biomasa, proteína bruta e índice de vegetación diferencial normalizado. Los datos se analizaron mediante el programa estadístico INFOSTAT®.

Resultados: La producción de biomasa indicó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para los factores en estudio especies y dosis de nitrógeno, pero no para la interacción de dichos factores. *D. glomerata* y *F. arundinacea* presentaron los valores de producción de biomasa más bajos (2 457 y 2 490 kg de MS ha⁻¹), comparados con *L. perenne*, que tuvo un rendimiento intermedio. *F. arundinacea* x *L. multiflorum* y *L. perenne* x *L. multiflorum* alcanzaron los valores más altos de biomasa (3 407 y 3 364 kg de MS ha⁻¹). El contenido de proteína bruta también aumentó con las dosis de nitrógeno. A su vez, el índice de vegetación diferencial normalizado se incrementó, también de acuerdo a un modelo cuadrático, con una respuesta diferente entre especies.

Conclusiones: Todas las especies respondieron positivamente a las dosis de aplicación de nitrógeno. Se determinó que existe incremento en la producción de biomasa, contenido de proteína bruta y el índice de vegetación diferencial normalizado.

Palabras clave: producción, ganadería, índices de vegetación

Abstract

Objective: To evaluate the effect of nitrogen fertilization on the growth and crude protein content of five perennial pastures of Ecuador.

Materials and Methods: To evaluate the effect of nitrogen fertilization on the growth and crude protein content of the species *Lolium perenne* L. var. Alto, *Lolium perenne* x *Lolium multiflorum* var. Shogun, *Festuca arundinacea* Schreb var. Alta Barolex, *Dactylis glomerata* L. var. Quick Draw and *Festuca arundinacea* x *Lolium multiflorum* var. Premium, six progressive doses of nitrogen were applied (0, 70, 140, 210, 280 and 350 kg N ha⁻¹ year⁻¹). A split-plot design was used, where the species was placed in the large plot, and the nitrogen doses, in the small ones, with three repetitions. The variables biomass production, crude protein and normalized differential vegetation index, were evaluated. The data were analyzed through the statistical program INFOSTAT®.

Results: The biomass production indicated statistically significant differences ($p < 0,05$) for the studied factors species and nitrogen doses, but not for the interaction of such factors. *D. glomerata* and *F. arundinacea* showed the lowest biomass production values (2 457 and 2 490 kg DM ha⁻¹), compared with *L. perenne*, which had a moderate yield. *F. arundinacea* x *L. multiflorum* and *L. perenne* x *L. multiflorum* reached the highest biomass values (3 407 and 3 364 kg DM ha⁻¹). The crude protein content also increased with the nitrogen doses. In turn, the normalized differential vegetation index increased, also according to a quadratic model, with a different response among species.

Conclusions: All the species responded positively to the nitrogen application doses. It was determined that there is increase in the biomass production, crude protein content and normalized differential vegetation index.

Keywords: production, animal husbandry, vegetation indexes

Recibido: 28 de octubre de 2020

Aceptado: 16 de marzo de 2021

Como citar este artículo: Benalcázar-Carranza, Brenda Pamela; López-Fiallos, Vanessa Fernando; Gutiérrez-León, Francisco Adolfo; Alvarado-Ochoa, Soraya & Portilla-Narváez, Arnulfo Rigoberto. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento de cinco pastos perennes en Ecuador. *Pastos y Forrajes*. 44:eE05, 2021.

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.

Introducción

La ganadería representa 40 % del producto interno bruto (PIB) agrícola a nivel mundial. Esta actividad genera empleo para mil trescientos millones de personas y es el principal medio de subsistencia para mil millones en todo el mundo. Los productos de la ganadería suministran un tercio del consumo mundial de proteínas (Steinfeld *et al.*, 2009).

Según la FAO (2019), el crecimiento poblacional, el aumento de la riqueza y la urbanización han incrementado la demanda de productos ganaderos, en particular en los países en vías de desarrollo. Se prevé que, para alimentar una población, que se estima alcance 9 600 millones de personas en 2050, la demanda mundial aumentará en 70 %.

En el mundo, el sector ganadero usa la mayor superficie de tierras agrícolas en el pastoreo y en cultivos forrajeros. Este sector también desempeña una función importante en el cambio climático, la gestión de la tierra, el agua y la biodiversidad. Actualmente se ejerce presión para que los sistemas de producción agropecuarios desarrollen tecnologías que les permitan ser sostenibles. Para alcanzar este objetivo, se deben considerar aspectos como la salud y el bienestar animal, la utilización responsable de los recursos genéticos animales, la nutrición y la alimentación animal sostenibles (FAO, 2018).

El uso eficiente de los recursos naturales en la ganadería se debe enfocar en tres áreas: prácticas de eficiencia, manejo de pastizales y manejo del estiércol Gerber *et al.*, 2013. Una estrategia de manejo en pasturas es el uso de los fertilizantes para potenciar su producción, y en ella se deben implementar prácticas de eficiencia. Según García (2017), a nivel mundial, del 30 a 50 % del rendimiento de los cultivos se atribuye a los nutrientes provistos por fertilizantes, siendo el nitrógeno (N) el más utilizado, seguido del fósforo (P) y el potasio (K).

El N es el elemento que más limita los rendimientos en cualquier sistema productivo, y se hace más importante su consideración, cuanto más intensiva se vuelva la producción (Alesandri & Alesandri, 2009). Los aportes de N a los cultivos se deben realizar buscando una producción sostenible, económica como ambientalmente (IDEA, 2007).

Según Santillano-Cázares *et al.* (2013), una de las razones que pueden afectar la rentabilidad de las producciones agrícolas radica en que los productores podrían estar utilizando más fertilizantes nitrogenados de los necesarios.

El uso del N y P como fertilizantes es una práctica muy difundida, pero su uso inadecuado puede provocar contaminación de los cuerpos de agua, y potenciar el crecimiento de algas en desmedro de los peces y fauna silvestre nativa (Alfaro & Salazar, 2005).

El uso excesivo del N en pasturas puede ocasionar intoxicaciones en los animales que consuman esta fuente de alimento, ya que se incrementa la concentración de nitratos, metabolito sumamente tóxico que reacciona a nivel sanguíneo (Fulkerson *et al.*, 2010).

A partir de estos antecedentes, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada en el crecimiento y contenido de proteína bruta de pastos perennes en Ecuador.

Materiales y Métodos

Localización. El estudio se realizó en el Campus Académico Docente Experimental La Tola (CADET) de la Facultad de Ciencias Agrícolas (FCAG) de la Universidad Central del Ecuador (UCE). El campus se halla en la parroquia Tumbaco, del cantón Quito, provincia de Pichincha. Esta instalación se encuentra ubicada a 2 465 msnm, latitud 00° 14' 46"S, longitud 78° 22' 00" O.

Características climáticas. El sitio de estudio tiene precipitación promedio de 952 mm, y temperatura de 16,4 °C (Date, 2019).

Condiciones del suelo. En el análisis de suelo de área de investigación se determinó que el N se encuentra en niveles bajos, mientras que el P y K se hallan en niveles altos. El suelo es de tipo Molisol, de textura franco arcillosa.

Diseño experimental y tratamiento. Se utilizó un diseño de parcelas divididas, con tres bloques y 30 tratamientos, para un total de 90 unidades experimentales. La parcela grande fue la especie de gramínea, y la pequeña las dosis de N. Se seleccionaron cinco tipos de especies de gramíneas perennes utilizadas como pasturas: raigrás diploide (*Lolium perenne* L. var. Alto), raigrás tetraploide (*Lolium perenne* x *Lolium multiflorum* var. Shogum), festuca (*Festuca arundinacea* Schreb var. Alta Barolex), pasto azul (*Dactylis glomerata* L. var. Quick Draw) y festulolium (*Festuca arundinacea* x *Lolium multiflorum* var. Premium) y se evaluaron seis dosis de nitrógeno.

Procedimiento experimental. En el experimento se analizaron seis dosis de N y se suministraron cantidades complementarias de P, K, magnesio (Mg) y azufre (S) (tabla 1). Las fuentes utilizadas fueron

Tabla 1. Dosis de N y cantidades complementarias de P, K, Mg y S utilizadas en el experimento.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	SO ₄
kg ha ⁻¹ año ⁻¹				
0	100	100	60	60
70	100	100	60	60
140	100	100	60	60
210	100	100	60	60
280	100	100	60	60
350	100	100	60	60

Se utilizaron como fuentes de nutrientes nitrato de amonio, superfosfato triple, muriato de potasio, sulfato de amonio y óxido de magnesio.

nitrato de amonio, superfosfato triple, muriato de potasio, sulfato de amonio y óxido de magnesio. Las dosis de N se fragmentaron en ocho aplicaciones iguales, que se realizaron siete días después de cada corte. El resto de los nutrientes se aplicó a la siembra.

Las especies se establecieron en parcelas de 7,5 m² (3 x 2,5 m) en 50 días. Se sembraron 33 kg de semilla por hectárea, en hileras separadas a 10 cm. A los 15 días se hizo un control de germinación y se resembró.

Se evaluaron cuatro cortes, con intervalo de 28 días entre cortes. Fisiológicamente, y en las condiciones agroclimáticas de este experimento, es en este tiempo en el que el pasto llega a su punto máximo de crecimiento, sin que empiece la senescencia de sus hojas. Las parcelas se manejaron a capacidad de campo, con un sistema de riego por aspersión. La investigación se desarrolló en la época de verano, entre junio y septiembre.

Se evaluaron las variables producción de biomasa, proteína bruta (PB) e índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI, por sus siglas en inglés). La producción de biomasa se determinó por el método del cuadrante, con dimensiones de 0,3 x 0,3 m y un muestreo al azar en las parcelas. Al realizar un corte rasante, se recolectó toda la materia verde en esta superficie y se pesó para luego tomar una submuestra y secarla en una estufa durante 24 horas, a 70 °C (Mejía-Taborda *et al.*, 2014). Finalmente, se determinó el contenido de materia seca (MS) y se calculó la producción total por hectárea, expresada en kg MS ha⁻¹ (AOAC, 2019).

El análisis de proteína se hizo a nivel foliar, a partir de una muestra de MS obtenida de la MS molienda y tamizada en una malla de 750 micras, mediante

el método semimicro Kjeldahl, de acuerdo con el procedimiento oficial de referencia AOAC 2001.11. El resultado se expresó en porcentaje (UNAM, 2019).

Para determinar el NDVI se utilizó el equipo *GreenSeeker*, el mismo que mediante un sensor óptico mide la intensidad del color verde y el tamaño de la planta. Estos datos se utilizaron en un algoritmo y se determinó un valor entre 0 y 1 (Trimble, 2019).

Análisis estadístico. Se realizó el análisis de varianza, con previa comprobación de los supuestos de homogenización de varianza y normalidad. Se utilizó la prueba de *Shapiro-Wilks*, modificada para determinar la normalidad, y la prueba de *Levene* de homocedasticidad de varianzas. Se aplicó la prueba de *Tukey* para la separación de medias de las variables que indicaron significación estadística ($p < 0,05$) entre tratamientos. Finalmente, mediante comparaciones y polinomios ortogonales se determinó si los datos asociados en cada variable tenían un componente lineal, cuadrático o cúbico. Las ecuaciones se corroboraron con el coeficiente de determinación, coeficiente de determinación ajustado y error estándar. Se utilizó el programa INFOSTAT®.

Resultados y Discusión

La producción de biomasa indicó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para los factores en estudio especies y dosis de N, pero no para la interacción de dichos factores. Todas las especies presentaron una respuesta positiva, con tendencia cuadrática a las dosis crecientes de nitrógeno. *D. glomerata* y *F. arundinacea* presentaron los valores de producción de biomasa más bajos, comparados con *L. perenne*, que tuvo rendimiento intermedio.

F. arundinacea x *L. multiflorum* y *L. perenne* x *L. multiflorum* alcanzaron los valores más altos de biomasa (fig. 1 y tabla 2). Los bajos rendimientos de *D. glomerata* y *F. arundinacea* se explican por la poca adaptación de estas especies

a las condiciones edafoclimáticas de la zona, y también por la presencia reiterativa de roya, lo que no ocurrió con el resto de las especies evaluadas.

Los resultados concuerdan con lo informado por Villalobos (2016), quien refiere que el N es el

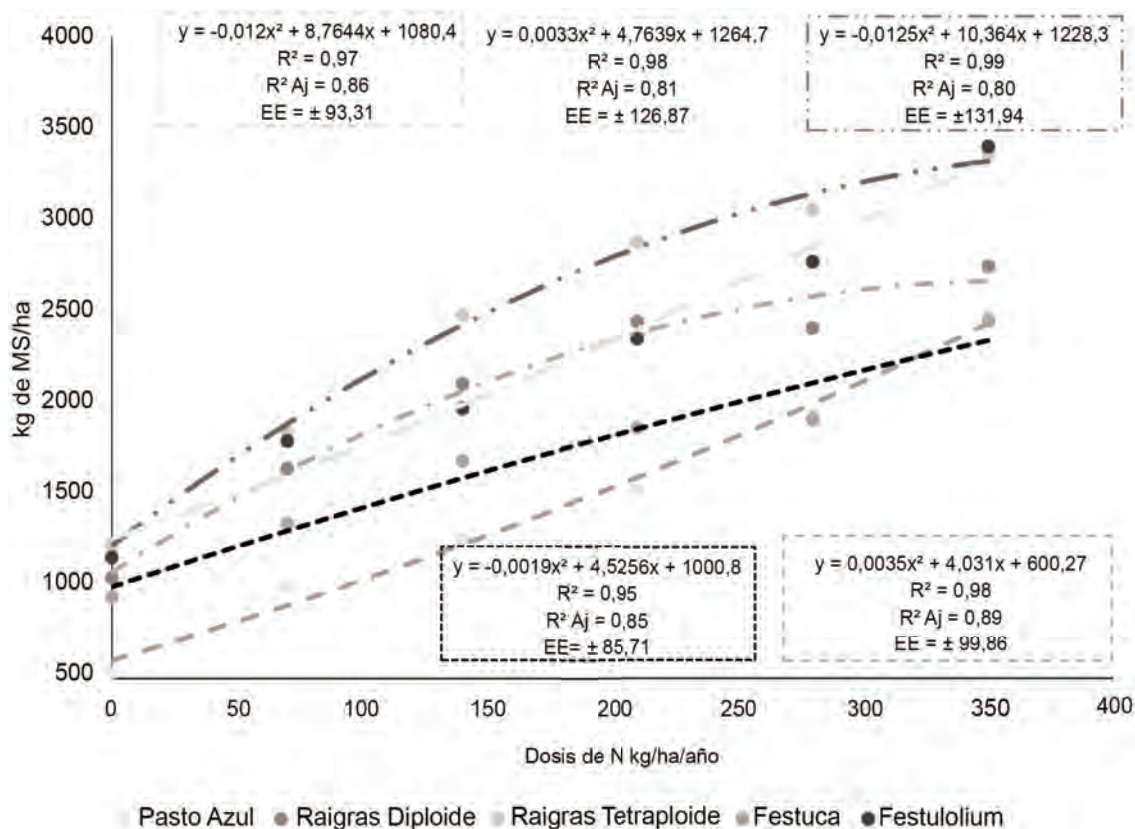


Figura 1. Producción de biomasa, expresada en kg de MS/ha, en cinco especies de pastos fertilizados con diferentes dosis de N.

D. glomerata (pasto azul), *L. perenne* (raigrás diploide), *L. perenne* x *L. multiflorum* (raigrás tetraploide), *F. arundinacea* (festuca), *F. arundinacea* x *L. multiflorum* (festulolium)

Tabla 2. Producción de biomasa en cinco especies de pastos fertilizadas con diferentes dosis de nitrógeno (kg de MS ha⁻¹).

Especies	0	70	140	210	280	350
<i>F. arundinacea</i> x <i>L. multiflorum</i> (festulolium)	1 164a	1 800a	2 488a	2 885a	3 065a	3 407a
<i>L. perenne</i> x <i>L. multiflorum</i> (raigrás tetraploide)	1 233a	1 853a	2 113ab	2 453ab	2 779a	3 364a
<i>L. perenne</i>	1 052a	1 651a	1 979ab	2 361ab	2 418ab	2 754ab
<i>F. arundinacea</i>	946ab	1 350ab	1 693bc	1 875bc	1 951b	2 490b
<i>D. glomerata</i>	535b	1 003b	1 265c	1 537c	1 919b	2457b
Valor - P	0,035	0,032	0,031	0,032	0,032	0,032
EE ±	96,77	75,68	93,72	103,88	105,91	111,02

Letras desiguales en una misma columna difieren para $p < 0,05$ según Tukey

nutriente de mayor importancia en la producción de pasturas, y que las dosis de fertilización utilizadas deben optimizar la producción de biomasa de alto valor nutricional con un bajo costo. Al respecto, Campillo *et al.* (2007) indican que el N se utiliza para potencializar las producciones de gramíneas. Estos autores informaron efectos significativos de la dosis de nitrógeno en la productividad y la cosecha de gramíneas como *Triticum aestivum* L.

Méndez *et al.* (2016) hallaron que la fertilización nitrogenada incrementó la producción de *F. arundinacea*, de 5 500 a 8 900 kg de MS/ha, con dosis de N de 0 y 350 kg de N/ha. Estas dosis permitieron cambiar la distribución del forraje en las estaciones del año, lo que resulta importante en sistemas pastoriles.

Duran *et al.* (2016) plantearon que la fertilización nitrogenada puede mejorar la productividad de la planta, pero se debe manejar cuidadosamente para evitar daños ambientales. En este sentido, Suter *et al.* (2015) informaron acerca de los desafíos actuales para la seguridad alimentaria mundial, que requieren una intensificación sostenible de la agricultura mediante iniciativas que incluyan un uso más eficiente del

N y la reducción de las pérdidas de este al medio ambiente. Rechișean *et al.* (2018) proponen que la respuesta de las gramíneas se puede optimizar, si se siembran en una mezcla con leguminosas como el trébol (*Trifolium* sp.).

El contenido de PB a nivel foliar mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos para los dos factores estudiados, pero no para su interacción. Hubo respuesta positiva a las dosis de N con una tendencia lineal. En cuanto al factor especie, el contenido de PB fue menor para el pasto azul, y el más alto lo alcanzó festulolium. En tanto, *F. arundinacea*, *L. perenne* y *L. perenne* x *L. multiflorum* tuvieron valores intermedios (figura 2 y tabla 3).

Los resultados de esta investigación indicaron contenidos de proteína bruta que no alcanzaron 23,0 %, para cada una de las especies estudiadas, aun con la dosis más alta de fertilización nitrogenada. Al respecto, Fulkerson *et al.* (2010) informaron que normalmente la proteína es adecuada en las pasturas, si se fertilizan con N. Sin embargo, una vez que el contenido de proteína supera 23 %, los nitratos

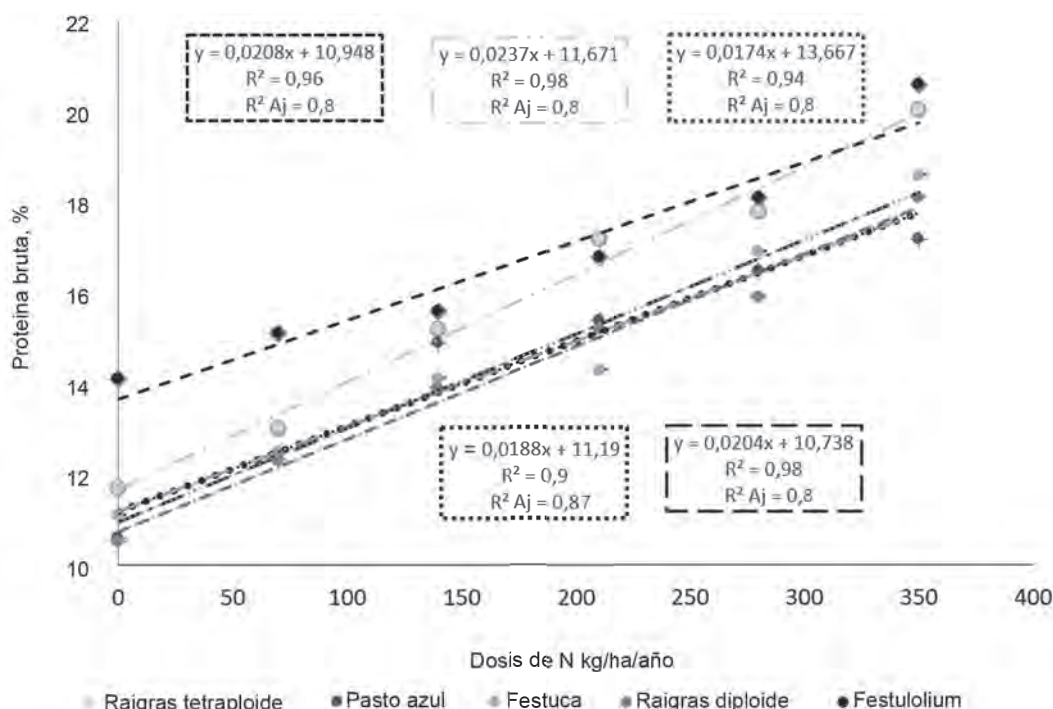


Figura 2. Contenido de proteína bruta en cinco especies de pasturas fertilizadas con diferentes dosis de nitrógeno

D. glomerata (pasto azul), *L. perenne* (raigrás diploide), *L. perenne* x *L. multiflorum* (raigrás tetraploide), *F. arundinacea* (festuca), *F. arundinacea* x *L. multiflorum* (festulolium)

Tabla 3. Contenido de proteína bruta en cinco especies de pasturas, fertilizadas con diferentes dosis de nitrógeno.

Especies	Proteína bruta, %					
	0	70	140	210	280	350
<i>F. arundinacea</i> x <i>L. multiflorum</i> (festulolium)	11,4a	15,1a	15,6a	16,8a	18,1a	20,6a
<i>L. perenne</i> x <i>L. multiflorum</i> (raigrás tetraploide)	9,6ab	13ab	15,2ab	17,2a	17,8a	20ab
<i>L. perenne</i>	9,6ab	12,5ab	13,9ab	15,2ab	15,9ab	18,1ab
<i>F. arundinacea</i>	9,6ab	12,3ab	14,1ab	14,3ab	16,5ab	18,6ab
<i>D. glomerata</i>	7,7b	9,7a	11,58b	15,4ab	16,9ab	17,2b
Valor - P	0,032	0,032	0,031	0,032	0,032	0,031
EE $\pm$	0,41	0,44	0,27	0,43	0,39	0,4

Letras desiguales en una misma columna difieren para $p < 0,05$ según Tukey

se comienzan a acumular, y esto podría causar rechazo y disminución en el consumo, así como una reducción en la eficiencia del rumen, lo que no debe ocurrir en las condiciones de este experimento.

Cerdas-Ramírez (2018) encontró que, al aumentar las dosis de N, se incrementa la concentración de PB, pero la respuesta que obtuvo no fue lineal. Solo logró hasta los 200 kg de N, dosis mayores no aumentaron la concentración de PB. Velazco *et al.* (2019) señalaron que el contenido de proteína tiene un comportamiento lineal con las aplicaciones de fertilizante nitrogenado. Soto *et al.* (2004) establecieron que la proteína se incrementa en 32 %, cuando las dosis de N aumentan de 200 a 400 kg de N ha⁻¹.

Pautasso *et al.* (2020) refieren que, si bien la utilización de fertilizantes es una tecnología reconocida, no se aplica correctamente, y que la respuesta de un cultivo varía en diferentes condiciones agroclimáticas. Newell y Hayes (2018) encontraron que las variedades híbridas de trigo tienen mayor concentración de proteína a una misma dosis de fertilizante. Una manera de incrementar el contenido de PB en las pasturas, sin demandar altas cantidades de fertilizantes, es la incorporación de leguminosas en las pasturas (Bozhanska y Churkova, 2020).

El NDVI indicó que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para especies y dosis de N. Todas las especies presentaron respuesta positiva a las dosis de N. Sus cambios en el crecimiento, determinados mediante el NDVI, respondieron a un modelo cuadrático. Las especies *F. arundinacea* x *L. multiflorum*, *L. perenne* x *L. multiflorum* y *L. perenne* tuvieron valores mayores de IVDN, cuando se fertilizaron con 280 y 350 kg de N, con respecto a *F. arundinacea* y *D. glomerata*, que mostraron los más bajos (fig. 3 y tabla 4).

El uso del NDVI y los índices de color (imágenes espectrales) para determinar cambios en el color y la morfología de las plantas han sido probados por Filippa *et al.* (2018). También Yao *et al.* (2014) concluyeron que se puede utilizar el NDVI para estimar el estado nutricional de un cultivo de manera no destructiva.

En estudios realizados para establecer los factores que controlan la eficiencia fotosintética de la planta, Ma *et al.* (2017) determinaron que la temperatura, la humedad y los nutrientes del suelo, principalmente el nitrógeno, son los factores más importantes que determinan la eficiencia fotosintética, por lo que el NDVI se ha utilizado como una herramienta para mejorar la aplicación y eficiencia de los fertilizantes nitrogenados (Lapidus *et al.*, 2017; Umesh *et al.*, 2018). A su vez, Chim *et al.* (2017) determinaron que el IVDN permite establecer la respuesta potencial del N en los cultivos, lo que se corrobora en los resultados de este estudio.

Rahetlah *et al.* (2014) y Karlsen *et al.* (2018) concluyeron que la biomasa de los pastizales se puede estimar a partir del NDVI. Estos autores refirieron que su correlación es variable (entre 0,6 y 0,8) y depende del método que se utilice y de la especie que se quiera medir, lo que coincide con los datos obtenidos en esta investigación.

Vleugels *et al.* (2017) determinaron que los mayores niveles de NDVI (0,86) en pasto raigrás para producción de semilla lo alcanzaron con 140 kg de N ha⁻¹. Dosis más altas de N no incrementaron de manera significativa los niveles de NDVI ni la producción de semilla. Sin embargo, (Fagundes *et al.*, 1999) concluyeron que distintos cultivares presentan diferente eficiencia de uso de la luz, diferentes áreas foliares y, por ende, diferente crecimiento y producciones de forraje.

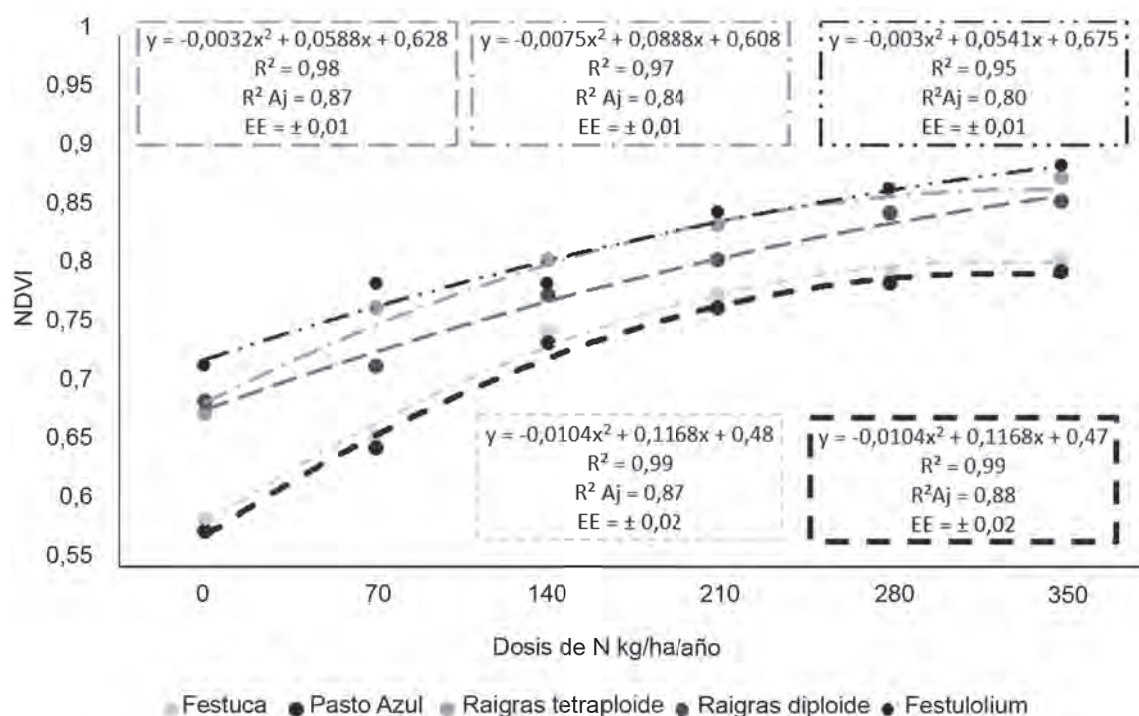


Figura 3. Índice de vegetación diferenciado normalizado en cinco especies de pasturas fertilizadas con diferentes dosis de nitrógeno.

D. glomerata (pasto azul), *L. perenne* (raigrás diploide), *L. perenne* x *L. multiflorum* (raigrás tetraploide), *F. arundinacea* (festuca), *F. arundinacea* x *L. multiflorum* (festulolium)

Tabla 4. Índice de vegetación diferenciado normalizado (IVDN) en cinco especies de pasturas fertilizadas con diferentes dosis de nitrógeno.

Especies	IVDN					
	0	70	140	210	280	350
<i>F. arundinacea</i> x <i>L. multiflorum</i> (festulolium)	0,72a	0,79a	0,79a	0,85a	0,87a	0,89a
<i>L. perenne</i> x <i>L. multiflorum</i> (raigrás tetraploide)	0,69ab	0,77a	0,81a	0,84a	0,85a	0,88a
<i>L. perenne</i>	0,68ab	0,72ab	0,78ab	0,81ab	0,85a	0,86a
<i>F. arundinacea</i>	0,58b	0,65b	0,74b	0,77b	0,79b	0,8b
<i>D. glomerata</i>	0,58b	0,65b	0,74b	0,77b	0,79b	0,8b
Valor - P	0,032	0,031	0,032	0,035	0,032	0,031
EE $\pm$	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01

Letras desiguales en una misma columna difieren para $p < 0,05$ según Tukey

Conclusiones

Todas las especies respondieron positivamente a las dosis de aplicación de N. Hubo incremento en la producción de biomasa, contenido de proteína y IVDN. Sin embargo, existieron diferencias entre especies. *F. arundinacea* x *L. multiflorum* y *L. perenne* x *L. multiflorum* tuvieron mejores resultados, valores intermedios alcanzó *L. perenne*, mientras que *F. arundinacea* y *D. glomerata* lograron un desempeño

bajo, lo que obedece a que estas no se adaptaron a las condiciones agroclimáticas del ensayo.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Central del Ecuador y a la Facultad de Ciencias Agrícolas por el financiamiento de esta investigación, así como a los estudiantes de Pastos y Forrajes, años 2017 y 2018, quienes colaboraron con la siembra, manejo y riego de las parcelas.

Contribución de los autores

- Francisco Adolfo Gutiérrez-León. Escritura del artículo científico y el proyecto de investigación, gestión de los fondos, análisis de muestras, tabulación y análisis estadístico.
- Brenda Pamela Benalcázar-Carranza. Evaluación de las variedades de *L. perenne*; *Lolium perenne* x *Lolium multiflorum* var. Shogum y *F. arundinacea*.
- Vanessa Fernanda López-Fiallos. Evaluación de *D. glomerata* y *F. arundinacea* x *L. multiflorum* var. Premium.
- Soraya Alvarado-Ochoa. Escritura del proyecto y revisión de la base de datos.
- Arnulfo Rigoberto Portilla-Narváez. Secado de muestras y análisis de laboratorio.

Referencias bibliográficas

- Alesandri, D. & Alesandri, G. Seminario sobre fertilización nitrogenada en pasturas. Uruguay: Universidad de la República, 2009.
- Alfaro, M. & Salazar, F. Ganadería y contaminación difusa, implicancias para el sur de Chile. *Agríc. Téc.*, Chile. 65 (3):330-340. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0365-28072005000300012&script=sci_arttext, 2005.
- AOAC. *Moisture in animal feed. AOAC Official Method 934.01*. Arlington, USA: AOAC International. <https://www.grains.k-state.edu/extension/doc/procedures/animal-feed-moisture-procedures.pdf>, 2019.
- Bozhanska, Tatyana & Churkova, Boryana. Correlation and regression relationships between quantitative and qualitative indicators of perennial grass and legume mixtures. *Bulg. J. Agric. Sci.* 26 (3):567-573, 2020.
- Campillo, R.; Jobet, C. & Undurraga, P. Optimización de la fertilización nitrogenada para trigo de alto potencial de rendimiento en Andisoles de la región de la Araucanía. *Agríc. Téc., Chile*. 67 (3):281-291, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072007000300007>.
- Cerdas-Ramírez, R. Extracción de nutrientes y productividad del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) con varias dosis de fertilización nitrogenada. *InterSedes*. 19 (39):172-187, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/isucr.v19i39.34076>.
- Chim, B. K.; Davis, P.; Black, T. & Thomason, W. In-season decision support tools for estimating sidedress nitrogen rates for corn in the Mid-Atlantic Coastal Plain. *J. Plant Nutr.* 100 (3):2818-2828, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1382531>.
- Climate-Data.Org. *Clima. Tumbaco, cantón Quito, provincia de Pichincha*. Oedheim, Alemania: Climate-date. org. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-pichincha/tumbaco-34393/>, 2019.
- Duran, Brianna E. L.; Duncan, D. S.; Oates, L. G.; Kucharik, C. J. & Jackson, R. D. Nitrogen fertilization effects on productivity and nitrogen loss in three grass-based perennial bioenergy cropping systems. *PLoS One*. 11 (3):e0151919, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151919>.
- Fagundes, J. L.; Silva, Sila C. da; Pedreira, C. G. S.; Sbrissia, A. F.; Carnevali, Roberta A.; Catvalho, C. A. B. de et al. Índice de área foliar, interceptação luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de *Cynodon* spp. sob diferentes intensidades de pastejo. *Scientia Agricola*. 56 (4):1141-1150. https://www.researchgate.net/profile/Andre_Sbrissia/publication/26365229_Indice_de_area_foliar_interceptacao_luminosa_e_acumulo_de_forragem_em_pastagens_de_Cynodon_spp_sob_diferentes_intensidades_de_pastejo/links/0c960531b6aca21dd2000000.pdf, 1999.
- FAO. *La ganadería y el medio ambiente*. Roma: FAO. <http://www.fao.org/livestock-environment/es/>, 2019.
- FAO. *Producción animal*. Roma: FAO. <http://www.fao.org/animal-production/es/>, 2018.
- Filippa, G.; Cremonese, E.; Migliavacca, M.; Galvagno, Marta; Sonnentag, O.; Humphreys, E. et al. NVDI derived from near-infrared-enabled digital cameras. Applicability across different plant functional types. *Agr. Forest Meteorol.* 249:275-285, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agromet.2017.11.003>.
- Fulkerson, B.; Griffiths, N.; Sinclair, Katrina & Beale, P. *Milk production from kikuyu grass based pastures*. Prime Fact 1068. P. 1-13. https://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0012/359949/Milk-production-from-kikuyu-grass-based-pastures.pdf, 2010a
- García, F. O. Manejo sostenible de nutrientes en los sistemas agrarios para el incremento de la producción atendiendo la temática ambiental. *IV Congreso Paraguayo de Ciencias Agrarias*. Paraguay: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. p. 1-44. [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/9972F6D0989E3DDA-84258108000FCD46/\\$FILE/FGarcia%20-%20Conferencia%20IVCNCA_2017.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/0/9972F6D0989E3DDA-84258108000FCD46/$FILE/FGarcia%20-%20Conferencia%20IVCNCA_2017.pdf), 2017.
- Gerber, P.; Steinfeld, H.; Henderson, B.; Mottet, A.; Opio, C.; Dijkman, J. et al. *Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Rome: FAO. <http://www.fao.org/3/a-i3437e.pdf>, 2013.
- IDAE. *Ahorro. Eficiencia energética y fertilización nitrogenada*. España: IDAE. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10418_Fertilizacion_nitrogenada_07_e65c2f47.pdf, 2007.
- Karlsen, S. R.; Anderson, H.; Van-der-Wal, R. & Hansen, B. A new NVDI measure that overcomes data

- sparsity in cloud-covered regions predicts annual variation in ground-based estimates of high arctic plant productivity. *Environ. Res. Lett.* 13 (2):025011. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa9f75/meta>, 2018.
- Lapidus, D.; Latané, Annah; Ortiz-Monasterio, I.; Beach, R. & Cárdenas-Castañeda, María E. *The greenseeker handheld: a research brief on farmer technology adoption and disadoption*. Publication No. RB-0014-1705. North Caroline, USA: RTI Press, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3768/rtipress.2017.rb.0014.1705>.
- Ma, S.; Osuna, Jessica L.; Verfaillie, J. & Baldocchi, D. D. Photosynthetic responses to temperature across leaf-canopy-ecosystem scales: a 15-year study in a Californian oak-grass savanna. *Photosynth. Res.* 132 (3):277-291, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11120-017-0388-5>.
- Mejia-Taborda, Ana C.; Ochoa-Ochoa, R. & Medina-Sierra, Marisol. Efecto de diferentes dosis de fertilizante compuesto en la calidad del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex Chiov.). *Pastos y Forrajes*. 37 (1):31-37. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942014000100004, 2014.
- Méndez, D. G.; Barraco, Miriam R. & Berone, G. D. Fertilización nitrogenada de pasturas de festuca y agropiro. En: *Memoria técnica 2015-2016/EEA General Villegas*. Argentina: INTA, EEA General Villegas. p. 67-68, 2016.
- Newell, M. T. & Hayes, R. C. An initial investigation of forage production and feed quality of perennial wheat derivatives. *Crop and Pasture Science*. 68 (12):1141-1148, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1071/CP16405>.
- Pautasso, J. M.; Quinodóz, J. E.; Lezana, Lucrecia; Isaurralde, R.; Peltzer, Y.; Giordano, M. *et al.* Respuesta a la fertilización nitrogenada de avena y raigrás. *XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Corrientes, Argentina: Asociación Argentina de Ciencia del Suelo. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/7812>, 2020.
- Rahetlah, V. B.; Salgado, P.; Andrianarisoa, B.; Tillard, E.; Razafindrazaka, H.; Le Mézo, L. *et al.* Relationship between normalized difference vegetation index (NDVI) and forage biomass yield in the Vakinankaratra region, Madagascar. *LRRD*. 26 (5). <http://www.lrrd.org/lrrd26/5/rahe26095.html>, 2014.
- Rechișean, D.; Dragoș, M.; Dragomir, N.; Horablaga, M.; Sauer, M.; Camen, D. *et al.* Associated culture of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) and crimson clover (*Trifolium incarnatum*) under nitrogen fertilization. *Animal Science & Biotechnologies/Lucrari Stiintifice: Zootehnie si Biotehnologii*. <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=1fb0fae3-ecc8-4857-8ffa-f58e-26f9ae2e%40sessionmgr120>, 2018.
- Santillano-Cázares, J.; López-López, Á.; Ortiz-Monasterio, I. & Raun, W. R. Uso de sensores ópticos para la fertilización de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Terra Latinoamericana*. 31 (2):95-103. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792013000300095&lng=es&nrm=iso&tlng=es, 2013.
- Soto, P.; Jahn, E. & Arredondo, Susana. Mejoramiento del porcentaje de proteína en maíz para ensilaje con el aumento y parcialización de la fertilización nitrogenada. *Agric. Téc., Chile*. 64 (2):156-162, 2004. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072004000200004>.
- Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M. & De Haan, C. *La larga sombra del ganado: Problemas ambientales y opciones*. Roma: FAO. <http://www.fao.org/3/a-a0701s.pdf>, 2009.
- Suter, M.; Connolly, J.; Finn, J. A.; Loges, R.; Kirwan, Laura; Sebastià, María T. *et al.* Nitrogen yield advantage from grass-legume mixtures is robust over a wide range of legume proportions and environmental conditions. *Glob. Change Biol.* 21 (6):2424-2438, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12880>.
- Trimble Inc. *Trimble GreenSeeker handheld crop sensor, flow and application control*. Sunnyvale, USA. https://www.trimble.com/Agriculture/gs-handheld.aspx?tab=Product_Overview, 2019.
- Umesh, M. R.; Swamy, T. S. M.; Ananda, N.; Shanwad, U. K.; Chittapur, B. M.; Desai, B. K. *et al.* Nitrogen application based on decision support tools to enhance productivity, nutrient-use efficiency and quality of sweet corn (*Zea mays*). *Indian J. Agron.* 63 (3):331-336. <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ija&volume=63&issue=3&article=012>, 2018.
- UNAM. *Laboratorio de alimentos I. Procedimientos*. México: UNAM. http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/PROCEDIMIENTOS13-I_20566.pdf, 2019.
- Velazco, L.; Sabando, M. & Delgado, M. Fertilización nitrogenada y frecuencia de corte sobre producción forrajera del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*, K. Schum) en época seca. *Rev. Ecuat. Cienc. Anim.* 2 (3):7-15. <http://www.revistaecuatorianadecienciaanimal.com>, 2019.
- Villalobos, L. Respuesta del pasto alpiste (*Phalaris arundinacea* L.) a la fertilización nitrogenada en Costa Rica. *Agron. Costarricense*. 40 (2):63-75, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15517/rac40i2.27386>.
- Vleugels, T.; Rijckaert, G. & Gislum, R. Seed yield response to N fertilization and potential of proximal sensing in Italian ryegrass seed crops. *Investigación de cultivos de campo*. 211:37-47, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.06.018>.
- Yao, Y.; Miao, Y.; Cao, Q.; Wang, H.; Gnyp, M. L.; Bareth, G. *et al.* In-season estimation of rice nitrogen status with an active crop canopy sensor. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Rem. Sen.* 7 (11):4403-4413, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2322659>.