

FERTILIZACIÓN NITROGENADA DEL CULTIVO DE AVENA FORRAJERA: SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO Y EFICIENCIA AGRONÓMICA DE NITRÓGENO

Nitrogen fertilization of the forage crop: its effect on the yield and agronomic efficiency of Nitrogen

Susana Caldas - López & Liliana Vega -Jara*

Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, UNHEVAL¹

*Correo electrónico: vegajara@agro.uba.ar,  <https://orcid.org/0000-0002-9692-0105>

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y EAN (eficiencia agronómica del nitrógeno) del cultivo de avena forrajera. Para cumplir este objetivo se realizó un experimento con diseño de DBCA, usando 6 tratamientos: T0(testigo absoluto), T1(50-20-60), T2(100-20-60), T3(180-20-60), T4(250-20-60) y T5(350-20-60), repetidos tres veces, en San Cristóbal, Huacrachuco. Se determinaron la evolución de altura de planta, número de macollos por planta, biomasa fresca, materia seca, % de fibra y, la eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN). Los datos se analizaron con ANOVA y prueba LSD al 5% de nivel de significación. Los tratamientos T5 y T4 alcanzaron valores más altos en longitud de tallo, mayores rendimientos de biomasa fresca y materia seca por m². La fertilización no cambió el número de macollos por planta y el % de fibra. Sin embargo, la EAN más óptima fue alcanzada con la dosis de 100-20-60. Valores superiores a esta dosis de N podrían producir sobre fertilización sin que la planta lo use con eficiencia. En conclusión, se recomienda aplicar esta dosis (100-20-60) por haber presentado la mejor EAN, siendo la adecuada para el uso eficiente de N del cultivo.

Palabras clave: Nitrógeno – San Cristóbal, Huacrachuco – Forraje

ABSTRACT

The goal was to evaluate the effect of nitrogen fertilization on the yield and EAN (agronomic efficiency of nitrogen) of the forage oat crop. To meet this goal, an experiment with a DBCA design was carried out, using 6 treatments: T0 (control), T1 (50-20-60), T2 (100-20-60), T3 (180-20-60), T4 (250-20-60) and T5 (350-20-60), repeated three times, in San Cristobal, Huacrachuco. The evolution of plant height, number of tillers per plant, fresh biomass, dry matter, % fiber and the agronomic efficiency of nitrogen (EAN) were determined. The data were analyzed with ANOVA and LSD test at 5% significance level. Treatments T5 and T4 reached higher values in stem length, higher yields of fresh biomass and dry matter by m². Fertilization did not change the number of tillers per plant and the % of fiber. However, the most optimal EAN was achieved with the dose of 100-20-60. Values higher than this dose of N could produce over fertilization without the plant using it efficiently. In conclusion, it is recommended to apply this dose (100-20-60) for having presented the best EAN, although the yields were lower with this dose, it would be the most appropriate for the efficient use of crop N.

Key words: Nitrogen - San Cristobal, Huacrachuco – Forage

<https://doi.org/10.47840/ReInA20203>

Recibido: 06 de marzo de 2020

Aceptado para publicación: 20 de marzo 2020

INTRODUCCIÓN

El costo de la alimentación animal es entre el 45 y 60% del costo total de la producción de leche (Heinrichs, 2015). El forraje es la principal fuente de alimentación de los animales y mucho más económico (Rúa Franco, 2016). La calidad de la producción animal también depende de la calidad del sistema productivo de los forrajes. En estos cultivos, el P y K son requeridos en menor cantidad que el N, además de ser más estables en el suelo, de modo que su aporte únicamente se relaciona con las exportaciones del cultivo. El N, sin embargo, tiene una dinámica distinta, la principal fuente es la materia orgánica del suelo, de donde se mineraliza y se hacen disponibles, la otra fuente de N es la fertilización. Las formas asimilables por las plantas son NO_3 y NH_4 , en estas formas se pueden perder con facilidad del sistema suelo, si el cultivo no lo llega a tomar.

El agregado de N como fertilizante tiene como propósito incrementar la cantidad y calidad del cultivo forrajero, ya que el N es componente de los aminoácidos y proteínas (Bernal, 2003). Está documentado que a mayor N disponible en el suelo, los cultivos generan más biomasa y por lo tanto más materia seca de alta calidad para la alimentación animal. Por otro lado, se hace importante conocer la eficiencia agronómica del nitrógeno más óptima usada por el cultivo de avena forrajera, esto con el fin de evitar la excesiva fertilización nitrogenada de los cultivos para evitar contaminar el medio ambiente. El método usado por el IPNI (2012) determina la cantidad de incremento de rendimiento por unidad de fertilizante aplicado.

Este trabajo se realizó en la parcela de un agricultor de la localidad de San Cristóbal, ubicado en la parte superior de la ciudad de Huacrachuco, provincia de Marañón, ubicado a $8^{\circ} 31' 35''$ de latitud sur, $76^{\circ} 31' 28''$ de longitud oeste y 2920 msnm. El objetivo fue evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y EAN (eficiencia agronómica del nitrógeno) del cultivo de avena forrajera (*Avena sativa* L.).

MATERIALES Y METODOS

La experiencia se realizó el 2019 en la localidad de San Cristóbal, Huacrachuco, Huánuco usando como cultivo indicador a la avena forrajera. Se aplicaron dosis diferenciales en N, con P y K constantes para todos los tratamientos. El diseño fue en DBCA con tres repeticiones. Se evaluaron seis tratamientos: T0(testigo absoluto), T1(50-20-60), T2(100-20-60), T3(180-20-60), T4(250-20-60) y T5(350-20-60). El tamaño de las parcelas fue de 14,7 m x 3,10m, en cada unidad experimental (parcela) se sembraron siete surcos de avena forrajera a chorro continuo. La distancia entre surcos fue de 0,3 m. El área neta experimental estuvo conformada por surcos centrales de 2,8 m². Las dosis de fertilización se estimaron a partir de los rendimientos esperados para P y K, mientras que para N se aplicaron dosis diferenciales desde bajas hasta dosis altas. El N fue fraccionado en dos, el 50% se aplicó al momento de la siembra y el restante 50% en el momento del macollado.

Se determinó la evolución de altura de planta a los 37 (momento de macollado), 58 (primer corte) y 180 (cosecha) días después de la siembra. Las variables evaluadas a la cosecha fueron: biomasa fresca, materia seca, % de fibra y la EAN (Eficiencia

Agronómica del Nitrógeno). El % de fibra se calculó de la diferencia de materia seca del tratamiento fertilizado con N menos la materia seca del tratamiento testigo y dividido entre el peso de biomasa fresca del tratamiento con N. La EAN se calculó restando la producción de biomasa seca del tratamiento fertilizado con N (TX) Testigo (T0) y luego se dividió entre la dosis de N [(RTX – RT0)/dosis de N] (IPNI, 2012). Esta forma de realizar los cálculos logra determinar el punto de la curva que equilibra la eficiencia con el rendimiento de materia seca. El muestreo fue al azar dentro del área neta experimental. Los resultados se analizaron mediante ANOVA, y de figuras de dispersión. Las diferencias significativas fueron determinadas a un nivel de significancia del 5% usando la prueba LSD.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a. Altura de plantas

La altura de planta está relacionada con la biomasa (i. e. rendimiento) del cultivo de la

arena, por lo que se hace necesario su evaluación. A los 37 días después de la siembra (momento del macollado) se vio diferencia significativa entre los tratamientos (p -valor $<0,01$). Sólo los tratamientos T0 (22,4 cm) y T1 (24,23 cm) presentaron valores más bajos de altura de planta, mientras que los tratamientos T2 (26,7 cm), T3(26,13 cm), T4(27,8 cm) y T5(27,9cm) presentaron mayor crecimiento y estadísticamente iguales (**Figura 1**).

En el momento del primer corte (58 días después de la siembra) también se vieron diferencias en altura de planta entre los tratamientos (p -valor $<0,01$). En ese momento, destacó con mayor altura, el T5, superando a los demás tratamientos, el T0 ocupó el último lugar (**Figura 1**). En el segundo corte (180 días después de la siembra), los tratamientos T5 y T4 alcanzaron los más altos valores de altura de planta acumulada, 168,7 y 164,2 cm respectivamente.

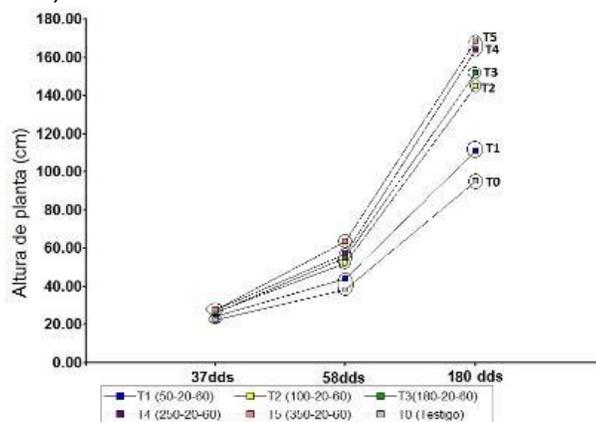


Figura 1: Altura de planta acumulada a los 37, 58 y 180 días después de la siembra de los seis tratamientos. Los círculos que encierran a los tratamientos incluidos son estadísticamente iguales al 0,05 de nivel de significación.

b. Rendimiento del cultivo de avena forrajera y Eficiencia Agronómica del Nitrógeno (EAN)

Los resultados del ANOVA indicaron que los tratamientos de fertilización no fueron diferentes estadísticamente para número de macollos por planta (p -valor=0,33). El rango de número de macollos por planta fue entre 10 y 12,67 (**Tabla 1**). La biomasa aérea fresca fue afectada por los tratamientos de fertilización (p -valor<0,01), el T5 alcanzó el valor más alto de biomasa fresca (21 kg m^{-2}) (**Tabla 1**). La materia seca también fue afectada por la fertilización (p -valor<0,01), los tratamientos T5 y T4 fueron superiores a todos los demás tratamientos. En tanto que el % de fibra no fue diferente entre los tratamientos, alcanzando un rango de valores entre 37,23% y 44,81% (**Tabla 1**).

Tabla 1: ANOVA y Prueba LSD al 0,05 de nivel de significación de las variables de rendimiento de la avena forrajera.

Tratamientos	N° macollos planta ⁻¹	Biomasa fresca m ⁻² (kg/m ²)	Materia seca m ⁻² (kg/m ²)	% de fibra
T0 (Testigo)	10,00a	8,33e	3,33d	40,2 1a
T1 (50-20-60)	13,00a	9,67e	4,33cd	44,8 1a
T2 (100-20-60)	12,33a	13,00d	5,00c	38,2 1a
T3 (180-20-60)	11,00a	15,33c	6,33b	41,2 5a
T4 (250-20-60)	11,33a	17,67b	6,67ab	38,0 7a
T5 (350-20-60)	12,67a	21,00a	7,67a	37,2 3a
Fuente de variación	ANOVA			
Tratamiento (p -valor)	0,33ns	<0,01**	<0,01**	0,62 ns
C. V. (%)	14,75	7,51	12,15	14,3 6

La EAN más óptima fue alcanzada con el tratamiento T2, con la dosis de 100-20-60, con lo cual alcanzó 169 kg de materia seca por kg de nitrógeno (Figura 2). En ese

punto de intersección entre la materia seca y la EAN, se sugiere como la más óptima, en dicho punto de intersección, el valor de materia seca alcanzada fue de 5000 kg ha⁻¹.

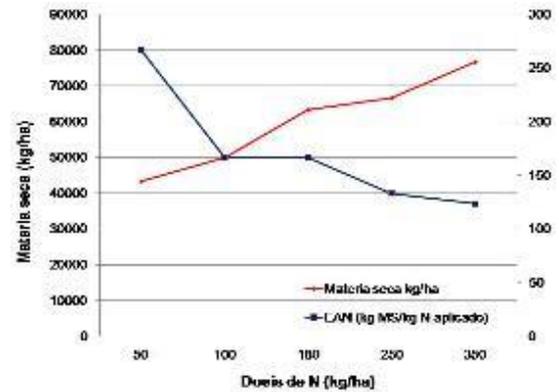


Figura 2: Figura de la dosis de N y la producción de materia seca en avena forrajera y representación gráfica del cálculo de EAN.

a. Altura de plantas

La diferencia entre los tratamientos se vio magnificada a los 180 días después de la siembra, durante las primeras etapas de desarrollo del cultivo, las diferencias no son muy notorias. El tratamiento T5 y T4 sobresalieron con mayor altura de plantas. Los dos tratamientos usaron 350 y 250 kg N ha⁻¹ (**Figura 1**). Lo cual es razonable, porque en estados tempranos, el cultivo absorbe bajas cantidades de nitrógeno, por lo que no se ven grandes diferencias en altura de planta entre los tratamientos. Fontanetto *et al.* (2017) señaló que el N produce un rápido crecimiento, aumentando la materia seca. Si existe mayor disponibilidad de N en el suelo aplicado en el momento de crecimiento de la planta, entonces el cultivo lo traduce en mayor crecimiento. El agregado de N puede incrementar el forraje, sin afectar la calidad del pasto, ni el consumo y productividad de los animales (Silva 2006).

En este trabajo, el agregado de 350 kg de N ha⁻¹ incrementó 73,7 cm de altura de planta (T5 vs T0). Estos resultados son razonables porque el N aplicado como fertilizante, como fuente la urea, es absorbido rápidamente una vez aplicado. Además del crecimiento del cultivo, el efecto del agregado de N al cultivo puede mejorar el contenido de proteínas, Bernal (2003) vieron aumentos en proteína en un 23% con dosis de 250 kg N ha⁻¹. Está documentado que el elemento que mayormente compone a las proteínas y aminoácidos es el N, lo cual se ve reflejado en la alta calidad de los forrajes. Por lo cual, algunos autores han usado a la fertilización nitrogenada como herramienta para mejorar la calidad y producción de los cultivos (mayor proteína induciendo a mayor materia seca disponible para pastoreo) (Denda, 2017). Shehu *et al.* (2010) vieron mayor número de ramas, hojas, vainas y altura de plantas con dosis de 112,5 kg N ha⁻¹. Haruna *et al.* (2011) vieron mayores altura de planta, mayor número de hojas por planta y más materia seca total con dosis de nitrógeno de 120 kg ha⁻¹. Vázquez (2009) y González (2010) obtuvieron 110 y 192 cm respectivamente en cultivo de avena forrajera. Valdez *et al.* (2011) obtuvieron en promedio 264 cm de altura en condiciones de suelos degradados. Los resultados mostrados en la **Figura 1** en este estudio muestran alturas de planta de 168,7 y 164,2 cm de los tratamientos T5 y T4 respectivamente muy superiores al control (T0) corroborando la información que está documentada.

b. Rendimiento del cultivo de avena forrajera y Eficiencia Agronómica del Nitrógeno (EAN)

El número de macollos por planta fue estadísticamente igual para todos los tratamientos de fertilización, alcanzando

rangos entre 10 y 12,67 macollos por planta (**Tabla 1**). Estos resultados son atribuibles a las características morfológicas del cultivo de la avena propias de su genética. Por lo cual, el nitrógeno no afectó a los macollos por planta pese a que se agregó en cantidades diferenciales, sin embargo el fósforo (P) y potasio (K) se agregó de forma constante a todos los tratamientos (20 – 60 kg ha⁻¹ respectivamente). El nitrato es más fácil de asimilar por los cultivos, en tanto que el P y K son requeridos en menor cantidad, además son relativamente estables en el suelo (Gutiérrez *et al.*, 2018). Según Roberts (1997) cuando el cultivo maximiza su uso de N, no produce efectos sobre el número de macollos concordando con nuestros resultados.

Si bien, la fertilización nitrogenada no cambió el número de macollos por planta, su efecto se vio sobre la biomasa fresca (p -valor < 0,01) siendo el T5 el de mayor biomasa, alcanzando 21 kg m⁻² (**Tabla 1**). Lo mismo ocurrió con la materia seca, los tratamientos T4 y T5 (dosis de N más altas) superaron a todos los demás tratamientos (**Tabla 1**). En este experimento, el N fue fraccionado en dos aplicaciones, el 50% a la siembra y el restante 50% al momento del macollado. Esta forma de aplicar N al cultivo conlleva a mayores producciones debido a la oportuna disponibilidad de N durante el crecimiento del cultivo (Fontanetto *et al.*, 2017). El cultivo de la avena exporta 20 kg de N por tonelada de materia seca producida (Ciampitti y García, 2007). Entonces, a mayor dosis de N mayor biomasa fresca y materia seca se generará en el cultivo. El N es un elemento esencial por ser constituyente de biomoléculas que sintetizan las plantas, por lo que afecta de forma directa a la producción de biomasa (Guerrero, 2012). Denda (2017) también sugirieron que el

agregado de N como fertilizante puede incrementar la materia seca, incluso mejorar la calidad de la materia seca, debido al aumento de proteínas. Es razonable que mientras más altas sean las dosis de N, mayor producción de biomasa fresca y materia seca se hayan producido. Sin embargo, nuestros resultados también mostraron que el % de fibra fue igual en todos los tratamientos, siendo el rango entre 37,23% y 44,81% (**Tabla 1**). Para esta variable, el coeficiente de variación fue de 14,36%, superior a lo reportado por Sánchez (2010) en condiciones de invernadero, donde el coeficiente de variación debe ser del 5%. La hipótesis nula fue que las dosis de N diferenciales no cambian el % de fibra, por lo que se acepta esta hipótesis por ser iguales los % de fibra de todos los tratamientos de fertilización.

La EAN óptima se alcanzó con el T2 (100-20-60), justo donde hubo intersección de las curvas de materia seca y EAN (**Figura 2**). En ese punto de intersección, la materia seca fue de 5000 kg ha⁻¹ y la EAN fue de 169 kg de materia seca por kg de nitrógeno. La EAN es una forma de tomar en cuenta la respuesta de la planta sin basarse en el análisis de suelo, ya que el mismo cultivo indica la necesidad de N (Legarda, 2015). Loayza (2016) vieron las mejores EAN con una dosis de N de 120 kg N/ha, con lo que la materia seca alcanzada fue de 5500 kg de materia seca ha⁻¹ y, la EAN fue de 200 kg de materia seca por kg de N agregado, resultados parecidos a los nuestros. Este estudio sugiere como dosis óptima de N, 100 kg N ha⁻¹, dosis superiores podrían ser contraproducentes para el medio ambiente, por el otro extremo, dosis inferiores podrían conllevar a bajos rendimientos.

CONCLUSIONES

a. La altura de planta es maximizada con las mayores dosis de N con los

tratamientos T5 y T4, donde se aplicaron 350 y 250 kg N ha⁻¹ respectivamente.

b. La fertilización nitrogenada no cambió el número de macollos por planta, atribuible a las características genéticas que son inherentes en el cultivo de avena forrajera, en tanto que la biomasa fresca y materia seca se maximizan con altas dosis de N (tratamientos T5 y T4).

c. Si bien, el % de fibra no fue afectado por el agregado de N como fertilizante, lo cual conlleva a aceptar la hipótesis nula. La EAN más óptima fue con la dosis de 100-20-60, por lo que se recomienda aplicar esta dosis para salvaguardar el medio ambiente evitando bajos rendimientos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bernal, J. (2003). Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos. Quito, Ecuador: IPNI.
- Ciampitti, I. A. y García, F. O. (2007). Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Cereales, Oleaginosos e Industriales. Informaciones Agronómicas N°. 33, Archivo Agronómico N° 11. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/E036AC788900A6560325728E0069FF05](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/E036AC788900A6560325728E0069FF05).
- Denda, S. (2017). Impacto de la fertilización nitrogenada sobre la producción y la composición química de trigo doble propósito y otros forrajes invernales: revisión bibliográfica. *Ciencia Veterinaria*, 7(1): 65-81.
- Fotanetto, H.; Keller, O.; García, F. y Ciampitti, I. (2017). Fertilización nitrogenada en avena. *Informaciones agronómicas* #38. Buenos Aires, Argentina: s.n.

- González Salomón, J.M. (2010). Fertilización nitrogenada del sésamo (*Sesamum indicum* L.), en un suelo de Escobar, Departamento de Paraguarí. Tesis (Ing. Agr.) Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. 34 p.
- Guerrero, J. M. (2012). Guía técnica "asistencia técnica dirigida en análisis de suelos y fertilización en el cultivo de avena forrajera". UNALM y Agrobanco, Servicios Financieros para el Perú Rural.
- Gutiérrez, F.; Loayza, C.; Portilla, A. y Espinosa, J. (2018). Evaluación de dosis de nitrógeno sobre la acumulación de biomasa, composición bromatológica y eficiencia de uso en avena forrajera (*Avena sativa*), variedad Dorada. *Siembra* 5(1): 71-78.
- Haruna, I.M.; Aliyu, L.; Olufajo, O. y Odion, E. C. (2011). Growth of Sesame (*Sesamum indicum* L.) as influenced by Poultry Manure, Nitrogen and Phosphorus in Samaru, Nigeria.
- Heinrichs, J. (2015). De la alimentación a la leche: Comprendiendo la función del rumen. Pensilvania-USA: PennState.
- IPNI. (2012). 4R de la nutrición de plantas. USA: Internatinal Plant Nutrition Institute.
- Legarda, A. (2015). Efecto De La Omisión De Nutrientes En Cuatro Variedades De *Brachiaria*. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador: s.n.
- Loayza, C. E. (2016). Eficiencia agronómica del nitrógeno en el cultivo de avena forrajera (*Avena sativa* L.). Tesis ingeniero agrónomo. Universidad Central del Ecuador.
- Roberts, T. (1997). Papel del fósforo y del potasio en el establecimiento de los cultivos. *Informaciones agronómicas* N° 26. Instituto de la potasa y el fósforo-INPOFOS. Quito, Ecuador. 1-4.
- Rua Franco, M. (2016). ¿Qué huella dejar?. *Infortambo*, 40-45.
- Sánchez, J. (2010). Introducción al diseño experimental. Quito, Ecuador: INGELSI.
- Shehu, H. E.; Kwari J. D.; Sandabe; M. K. (2010). Effects of N, P and K fertilizers on yield, content and uptake of N, P and K by sesame . *Int. J. Agric. Biol.*, 12 (6): 845-850.
- Silva, A., Coral, D. y Menjivar, J. (2006). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la actividad microbial y rendimiento de avena forrajera en un suelo andisol Nariño, Colombia. *Acta Agronómica*, 55(1), 55.
- Valdez, A.S.; Florentín, M.; Mendoza, F. (2011). Curvade respuestade NPK y micronutrientes (B, Zn) en el cultivo de sésamo (*Sesamum indicum* L.). In: *II Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos*. Sociedad Paraguaya de Ciencia del Suelo. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Asunción. p 136 - 139.
- Vázquez Gómez, P. R. (2009). Fertilización nitrogenada y su efecto en la producción (*Sesamum indicum* L.), en un alfisol de Escobar, Departamento de Paraguarí. Tesis (Ing. Agr.) Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial. 38 p