

Artículo Original  
Original Article

## EVALUACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CALIDAD NUTRICIONAL DE LA AVENA (*Avena sativa* L) EVALUATION OF NITROGEN FERTILIZATION ON THE PRODUCTIVE PERFORMANCE AND NUTRITIONAL QUALITY OF *Avena sativa* L

**Lourdes Andrea Velázquez-Mendoza**

Universidad Nacional de Caaguazú. Coronel Oviedo, Paraguay

<https://orcid.org/0009-0003-0237-353X>

**Rodolfo Heyn Micheletto**

Universidad Nacional de Caaguazú. Coronel Oviedo, Paraguay

<https://orcid.org/0009-0003-5036-7281>

**Carlos Villalba-Martínez**

Universidad Nacional de Caaguazú. Coronel Oviedo, Paraguay

<https://orcid.org/0000-0001-9977-5882>

Autor corresponsal: Carlos Villalba-Martínez: [villalba.javierdqi@gmail.com](mailto:villalba.javierdqi@gmail.com)

Cómo citar el artículo:

Velázquez-Mendoza LA, Heyn Micheletto R, Villalba-Martínez C. Evaluación de la fertilización nitrógenada sobre el comportamiento productivo y calidad nutricional de la avena (*Avena Sativa* L). Rev. Soc. cient. Parag. 2026;31:e3110

### RESUMEN

Los requerimientos forrajeros en el Paraguay se han incrementado en los últimos años por el aumento de la cantidad de bovinos de carne. En los períodos invernales, se presenta una menor producción por las bajas temperaturas y disminución de la radiación solar. Existen especies como la avena que presentan un desarrollo adecuado en los meses de abril – setiembre, pero presentan bajos rendimientos por la disminución de la disponibilidad de nitrógeno (N) en los suelos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de la avena. Para ello se contaron con niveles de 0, 23, 45, 68, 90 y 113 kg de N ha<sup>-1</sup>, distribuidos en un diseño de bloques al azar. Se evaluaron la producción forrajera y la calidad bromatológica, así como la eficiencia del N aplicado. Los resultados muestran que para la altura de la planta no se presentaron diferencias entre los tratamientos, en cambio para el forraje verde (25.000 kg ha<sup>-1</sup>) al igual que para la materia seca (4.000 kg ha<sup>-1</sup>) son superiores con la utilización de 113 kg de N ha<sup>-1</sup>. Para la proteína bruta se presentaron concentraciones de 16% con la utilización de 113 kg de N, para los nutrientes digestibles totales (NDT) y la fibra detergente neutra (FDN) no se observaron diferencias. En cuanto a la absorción de N por la avena, se requieren 26 kg de N por tonelada de materia seca producida, además se presentó una eficiencia de recuperación del fertilizante de 0,4 y una eficiencia agronómica de 8,3. En conclusión, la fertilización con N con la dosificación de 150 kg ha<sup>-1</sup>, mejora el rendimiento y la calidad de la avena, por ende, es una alternativa para la producción de forrajes en el periodo invernal de la región oriental del Paraguay.

**Palabras clave:** producción forrajera; urea; alimentación animal; eficiencia del nutriente.

### ABSTRACT

Forage requirements in Paraguay have increased in recent years due to the growing number of beef cattle. During the winter months, lower production occurs due to low temperatures and reduced solar radiation. Species such as oats exhibit adequate development between April and September, but low yields result from decreased nitrogen (N) availability in the soil. The objective of this study was to evaluate the effect of nitrogen fertilization on oat yield and quality. Application levels of 0, 23, 45, 68, 90, and 113 kg N ha<sup>-1</sup> were used in a randomized block design. Forage production, nutritional quality, and nitrogen efficiency were evaluated. The results show that there were no differences in plant height between treatments. However, green forage (25,000 kg ha<sup>-1</sup>) and dry matter (4,000 kg ha<sup>-1</sup>) yields were higher with the application of 113 kg N ha<sup>-1</sup>. Crude protein concentrations reached 16% with the application of 113 kg N (three times higher than the treatment without application). No differences were observed in total digestible nutrients (TDN) or neutral detergent fiber (NDF). Oat nitrogen uptake required 26 kg N per ton of dry matter produced, and the fertilizer recovery efficiency was 0.4, with an agronomic efficiency of 8.3. In conclusion, fertilization

with N at a dosage of 150 kg ha<sup>-1</sup> improves the yield and quality of oats, therefore, it is an alternative for forage production in the winter period of the eastern region of Paraguay.

**Keywords:** forage production; urea; animal feed; nutrient efficiency.

## INTRODUCCIÓN

La producción ganadera en el Paraguay es una de las fuentes de ingresos más importantes <sup>(1)</sup>, con una población de bovinos de carne que ronda los 15 millones aproximadamente, siendo una de las principales causas del cambio de uso de suelo, con la deforestación de bosques para establecer pasturas y cultivos <sup>(2)</sup>. Para una producción continua de carne bovina los requerimientos de forrajes se incrementan constantemente, donde el periodo de menor producción de las pasturas es el invierno <sup>(3)</sup>, por las bajas temperaturas y la menor cantidad de horas luz, por lo tanto, tiende a ser una limitante para la mayoría de los productores.

Existen cultivos forrajeros que se adaptan a los periodos invernales, como la avena, una planta que se produce en zonas de bajas temperaturas y condiciones ambientales diversas, presenta una alta cantidad de forraje verde y calidad bromatológica en periodos de escasez de alimento para los animales <sup>(4)</sup> (abril - setiembre). Es una planta erecta con hábito de macollamiento y puede alcanzar alturas de hasta 2 metros <sup>(5)</sup>.

La avena se utiliza principalmente para pastoreo directo como forraje verde, sin embargo, se pueden producir fardos de heno si se opta por un sistema de conservación de forrajes <sup>(6,7)</sup>. En cuanto a su rendimiento se puede llegar a obtener 5000 a 6000 kg de materia seca por hectárea con buenas condiciones de manejo y fertilización. Respecto a su calidad bromatológica, estudios indican que presenta una alta digestibilidad, con altas concentraciones de proteína por el grano que presenta <sup>(8)</sup>.

Entre los nutrientes esenciales requeridos por las plantas el N es uno de los principales que limita el crecimiento y desarrollo principalmente de las gramíneas en la mayoría de los ecosistemas terrestres <sup>(9,10)</sup>. Las reservas de N en el suelo dependen en gran medida de las reservas de materia orgánica en el suelo (MOS) <sup>(11,12)</sup> además de los aportes por medio de la fijación biológica del nitrógeno <sup>(13)</sup>.

El nitrógeno es uno de los nutrientes que se encuentra en constante transformación en el suelo, por medio de la mineralización de la materia orgánica, formando amonio y nitratos, su inmovilización por los microorganismos del suelo, lixiviación y desnitrificación que en muchos casos limitan la absorción de este nutriente por las plantas <sup>(14)</sup>. Las pérdidas de nitrógeno en los suelos agrícolas son constantes principalmente en los que presentan texturas arenosas como en la región oriental del Paraguay y bajas cantidades de materia orgánica <sup>(15,11)</sup> y su disponibilidad limita el rendimiento de los cultivos principalmente de las gramíneas <sup>(16)</sup>.

La avena es un cultivo que requiere cantidades importantes de nitrógeno, <sup>(17)</sup> estudiaron el efecto de los fertilizantes nitrogenados sobre el rendimiento y la calidad de la avena, mencionan que, con niveles crecientes de nitrógeno, la planta incrementa significativamente, la altura, la producción de materia verde y número de macollos. Igualmente, el valor nutritivo de la avena puede aumentar significativamente con la aplicación del nitrógeno <sup>(16)</sup> en la cantidad de proteína y en otros parámetros como NDT (nutrientes digestibles totales) <sup>(18)</sup>.

Los suelos de la región oriental se caracterizan por una baja cantidad de materia orgánica del suelo y por ende una baja reserva de N, por ello, la fertilización nitrogenada en los cultivos es fundamental para la obtención de altos rendimientos, que pueden mejorar la producción de forraje, no solamente en cantidad, sino también en calidad. Por lo mencionado anteriormente, este trabajo tuvo como objetivo la evaluación diferentes niveles de N en la avena, además de conocer la eficiencia del N en estos suelos Ultisoles caracterizados por una baja fertilizada natural.

## METODOLOGIA

### Localización y características del sitio experimental

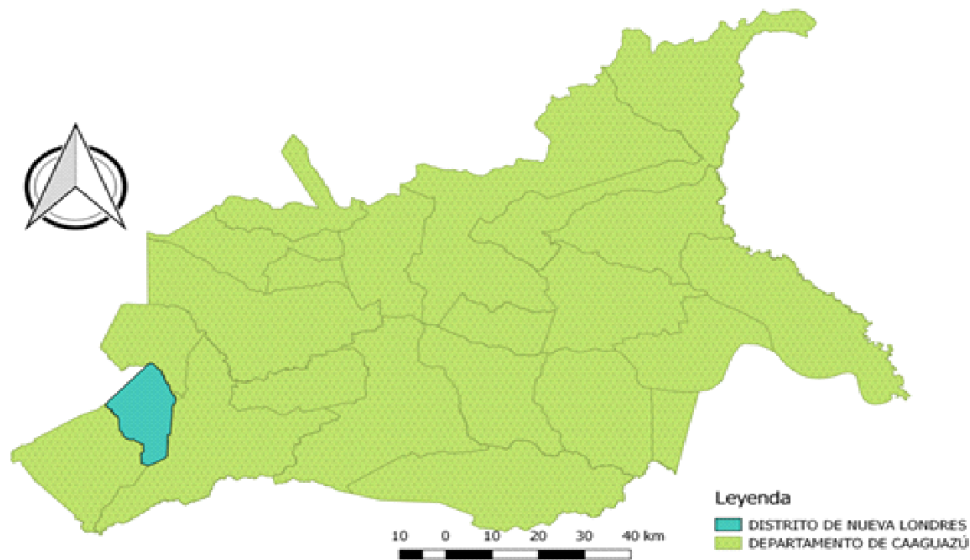
La investigación se llevó a cabo en el distrito de Nueva Londres, Departamento de Caaguazú. El área de estudio presenta un clima subtropical (clasificación de Köppen) con una precipitación media anual de 1700 mm y temperatura media de 27 °C y altura sobre el nivel del mar de 174 m. La zona se caracteriza por sistemas de producción ganadera extensiva de cría y recría de ganado vacuno.

**Tabla 1.** Características químicas de la parcela de estudio.

pH*	MO*	P*	Ca*	Mg*	K*	Al*	Densidad	Textura
CaCl	%	mg kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			Mg m <sup>-3</sup>	
5,3	1,8	12	1,8	0,6	0,04	0	1,2	Fa

pH: potencial hidrogeno; MO: Materia orgánica; P: fosforo; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; K: Potasio; Al: Aluminio.

El suelo corresponde al orden Ultisol. El análisis de suelo (Tabla 1) mostró bajas concentraciones de MOS (1,8%), al igual que los nutrientes disponibles, ácido sin presencia de Al intercambiable, una densidad de 1,2 Mg m<sup>-3</sup> y textura franco arenosa.



**Figura 1.** Ubicación de la investigación

### Diseño experimental y establecimiento de la investigación

El lugar donde se desarrolló la investigación presentaba un manejo de labranza convencional, donde el cultivo anterior fue maíz para producción de granos. Para el establecimiento de la avena blanca se realizó un subsolado y remoción con arado de vertedera y la siembra fue al voleo con una densidad de 80 kg de semilla ha<sup>-1</sup>.

Al momento de la siembra se aplicó una fertilización de base uniforme en toda la parcela con 200 kg ha<sup>-1</sup> de la fórmula 15-15-15. Los tratamientos consistieron en niveles crecientes de nitrógeno, utilizando urea como fuente (Tabla 2) distribuidos en un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, totalizando 24 unidades experimentales. Cada unidad experimental tuvo una superficie de 3 x 2 m, separados con camineros de 1 m.

**Tabla 2.** Distribución de tratamientos

Tratamientos	Nitrógeno		Urea (Cobertura)
	kg ha <sup>-1</sup>		
T1	30		0
T2	53		50
T3	75		100
T4	98		150
T5	120		200
T6	143		250

La urea se aplicó al voleo, a los 25 días después de la germinación en una sola etapa, inmediatamente posterior a una precipitación, con el objetivo de minimizar pérdidas y mejorar la disponibilidad del nitrógeno. Las condiciones climáticas durante el ensayo (julio a Setiembre 2025) fueron de 210 mm acumulados, se presentaron heladas y temperaturas medias de 22°C.

### **Evaluación de las variables agronómicas**

El corte se realizó 84 días posterior a la germinación, se utilizó un cuadrante de 1m<sup>2</sup>, colocado en las hileras centrales de cada unidad experimental para disminuir el efecto borde. En campo se determinaron la altura de planta (cm) y rendimiento de materia verde (kg ha<sup>-1</sup>). Posteriormente, las muestras fueron enviadas al laboratorio para la determinación de las variables bromatológicas.

### **Análisis bromatológico**

La materia seca (MS) se obtuvo a partir de las submuestras provenientes de la materia verde, las cuales fueron secadas en una estufa a 105°C durante 24 h, hasta alcanzar un peso constante <sup>(19)</sup>. La proteína bruta se determinó mediante el método micro-Kjeldahl. La fibra detergente neutro (FDN) y nutrientes digestible totales (NDT) fueron evaluadas por la metodología NIR, basado en la quimiometría, que asocia la luz absorbida en una muestra con la composición química de la misma desarrollando a partir de ello ecuaciones de predicción en tres fases: calibración, validación interna y validación externa <sup>(20)</sup>.

### **Eficiencia del nitrógeno**

La determinación de la eficiencia agronómica (relación de la dosis de N con la producción de MS del pasto avena), se calculó restando la producción de la parcela testigo (RN<sub>0</sub>) del rendimiento de cualquiera de las dosis estudiadas (RN<sub>x</sub>) y luego se dividió ese valor para la misma dosis [(RN<sub>x</sub> - RN<sub>0</sub>)/dosis de N] <sup>(21)</sup>; de esta forma se logró determinar en qué punto de la curva se logra equilibrar la eficiencia con el rendimiento de MS.

### **Análisis estadísticos**

Los datos obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA), previo análisis de normalidad y heterogeneidad, y donde se detectaron diferencias significativas, las medias de los tratamientos se compararon mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. Se determinaron además los valores promedios y coeficientes de variación para cada variable.

## **RESULTADOS y DISCUSIÓN**

### **Variables agronómicas**

En la altura de la planta, no se observaron diferencias significativas en respuesta a los niveles del N con una media de 89 cm/planta, estudios muestran que las variaciones en la altura de la planta de la avena se encuentran relacionada principalmente a la función genotípica antes que a la fertilización. En Perú <sup>(22)</sup>, han estudiado la fertilización nitrogenada en el cultivo de avena forrajera y su efecto en la altura de la planta, encontrando resultados de 160 cm promedio, valores que se encuentran encima de este ensayo.

**Tabla 3.** Efecto de los niveles de nitrógeno sobre las variables agronómicas de la avena

Niveles de N	Altura de planta	Variables	
		Materia verde	Materia Seca
Kg ha <sup>-1</sup>	cm	Kg ha <sup>-1</sup>	
30	85	11887c	2230d
53	83	11887c	2167d
75	89	14787c	2980c
98	92	18075b	3377b
120	93	22500a	3520b
143	95	24325a	4295a
p-valor	ns	0.001	0.001

Para la variable de forraje verde se observa que los niveles de 90 y 113 kg N ha<sup>-1</sup> presentaron los mayores rendimientos, alcanzando valores de hasta 24.325 kg ha<sup>-1</sup> el N está directamente relacionado a la producción de proteína generando mayor biomasa en los cultivos. Diversos estudios han demostrado la influencia del nitrógeno sobre la producción de biomasa en cultivos forrajeros, en Argentina <sup>(23)</sup>, evaluaron la aplicación de nitrógeno en avena, donde observaron incrementos de la biomasa aérea con valores de 13.365 kg ha<sup>-1</sup>, 11.698 kg ha<sup>-1</sup> con la utilización de 60 kg de N por ha<sup>-1</sup>. En esta investigación se encontraron valores de 24.325 kg de materia verde con la utilización de 113 kg de N ha<sup>-1</sup>, lo que demuestra la influencia de la aplicación de N en la producción de biomasa.

De manera similar <sup>(24)</sup>, evaluaron niveles de nitrógeno sobre la acumulación de biomasa con rendimientos cercanos a 20.000 kg ha<sup>-1</sup> de biomasa verde con la aplicación de 350 kg de nitrógeno, en esta investigación se encontraron rendimientos mayores con la aplicación de 113 kg de N por hectárea. Investigaciones <sup>(25)</sup> señalaron que una adecuada disponibilidad de nitrógeno produce un rápido crecimiento de la planta, aumentando la materia seca y mayores rendimientos del cultivo.

En cuanto a la producción de materia seca (MS), el tratamiento con 113 kg de N ha<sup>-1</sup> fue significativamente superior (Tabla 3) a los demás tratamientos con una producción de 4.295 kg ha<sup>-1</sup>, 52% superior al testigo (2.230kg ha<sup>-1</sup>). Los fertilizantes nitrogenados aplicados en otoño-invierno mejoran la producción de materia seca, por la baja mineralización del nitrógeno <sup>(26)</sup>, la producción de materia seca promedio de la avena con fertilizaciones superiores a 100 kg de N puede llegar a rendimientos cercanos a los 5.628 de MS ha<sup>-1</sup>. En el experimento desarrollado se presentaron rendimientos cercanos con la aplicación de 113 kg N ha<sup>-1</sup>.

### Variables bromatológicas

Para la proteína bruta (Tabla 4) la aplicación de 113 kg N ha<sup>-1</sup> presentó valores significativamente superiores a los demás tratamientos, alcanzando una concentración del 16%, lo que representa alrededor de tres veces superior al testigo (6%) mostrando un incremento proporcional de la PB a medida que aumenta la cantidad de N aplicado. El nitrógeno es el elemento de mayor requerimiento en las gramíneas y su absorción está relacionada con la producción de biomasa, particularmente con la materia verde <sup>(27)</sup>. Este elemento constituye un componente principal de la proteína y participa en todas las etapas del crecimiento y desarrollo de las plantas <sup>(28)</sup>.

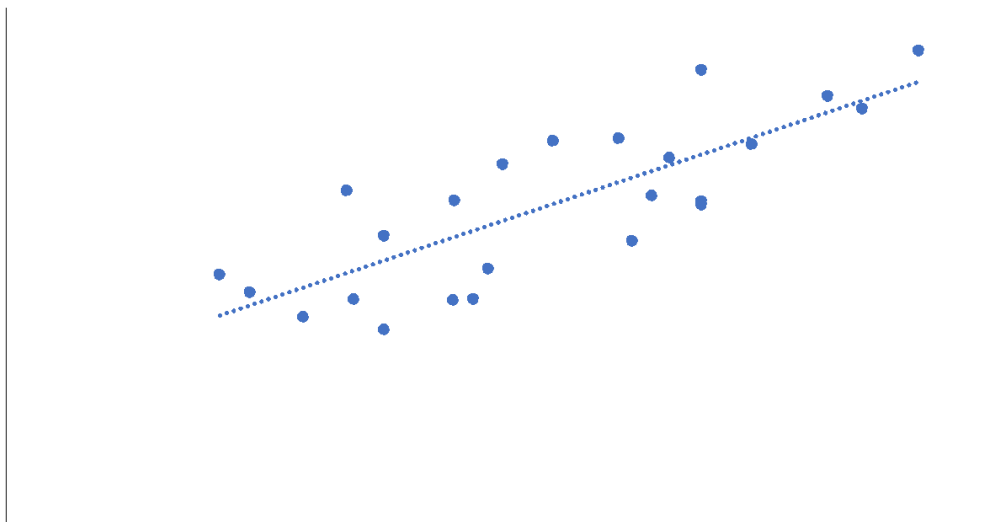
Al evaluar cuatro variedades de avena <sup>(29)</sup>, mencionan que la concentración promedio de proteína bruta en el cultivo es alrededor del 7%, pudiendo incrementar con la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Referente a esto <sup>(30)</sup> encontraron concentraciones de hasta 11% de PB con aplicaciones de diferentes niveles de nitrógeno de hasta 120 kg ha<sup>-1</sup> <sup>(30)</sup>, valores inferiores a lo registrado en esta investigación donde se muestran resultados de 16% con 113 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 4.** Efecto de los niveles de nitrógeno sobre las características bromatológicas de la avena

Niveles de N	Variables		
	PB	NDT	FDN
Kg/ha		%	
30	6d	59	57c
53	7c	59	57c
75	9c	59	57c
98	12b	59	58b
120	13b	60	57d
143	16 <sup>a</sup>	59	59a
p-valor	0,001	ns	0,001

*PB: Proteína bruta; NDT: Nutrientes digeribles totales; FDN: Fibra detergente neutra.*

En suelos con bajos contenidos de materia orgánica, las reservas naturales de nitrógeno son muy bajas, por lo que la fertilización nitrogenada aumenta la producción de proteína bruta en las plantas, principalmente en las gramíneas como la avena <sup>(31)</sup>, cuyo comportamiento se evidenció en esta investigación donde los niveles de N incrementaron proporcionalmente el contenido de PB en la avena.



**Figura 2.** Relación entre la proteína bruta y la producción de materia seca

La proteína bruta presentó una alta relación con la producción de biomasa en la avena, tanto en la materia verde y seca de la planta. En la Figura 2 se observa que al incrementarse la proteína bruta en la planta se incrementa proporcionalmente la producción de materia seca en la planta, lo que indica una asociación positiva entre ambas.

Al incrementarse la PB en la planta aumenta la producción de materia seca, ya que el nitrógeno es el componente principal de la proteína <sup>(32)</sup>. De acuerdo con esto, en el presente estudio se observó que una mayor absorción de nitrógeno favoreció la acumulación de PB, como así también la producción de biomasa de la avena (Figura 4).

La sumatoria de los nutrientes digeribles del forraje, que incluyen la proteína bruta, fibra, extracto libre de nitrógeno (carbohidratos no fibrosos) y grasa, no fue influenciada significativamente por la aplicación de N, registrándose una media general de 59%. Resultados similares fueron reportados <sup>(18)</sup> quienes al evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el valor nutritivo y la digestibilidad del forraje de avena y encontraron que a medida que se incrementa la dosis de N, disminuye el valor del NDT.

El nitrógeno es un elemento que se encuentra altamente relacionado con el crecimiento y el desarrollo de la planta, en cambio, otros nutrientes como el fósforo presentan funciones como transferencia de energía, membrana fosfolípido que se asocian a la calidad de forrajes como la avena <sup>(33)</sup>. Esta diferencia funcional puede ser una de las razones por la cual no se presentan diferencias estadísticas por la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno observado en este estudio (Tabla 4).

En relación con la fibra detergente neutro, en una investigación desarrollada en México sobre la calidad forrajera de avena con diferentes niveles de nitrógeno, no encontraron diferencias sobre la FDN con promedios de 57 a 60% <sup>(34)</sup>, resultados que coinciden con los obtenidos en esta investigación. En concordancia <sup>(35)</sup> tampoco reportaron efecto de la fertilización nitrogenada sobre la FDN, lo que explica, la falta de efecto significativo del nitrógeno sobre esta variable.

### Eficiencia del uso del nitrógeno y concentración en la planta

En la Tabla 5 se presenta la eficiencia del uso de nitrógeno en el cultivo de la avena con la utilización de diferentes niveles de nitrógeno. Se observa que, con la aplicación de 113 kg de N ha<sup>-1</sup> la concentración de N en planta fue de 2.6 %, lo que indica una extracción del cultivo de 26 kg de N por tonelada de biomasa producida. Resultados similares son reportados por diversos autores <sup>(36, 32, 24)</sup>.

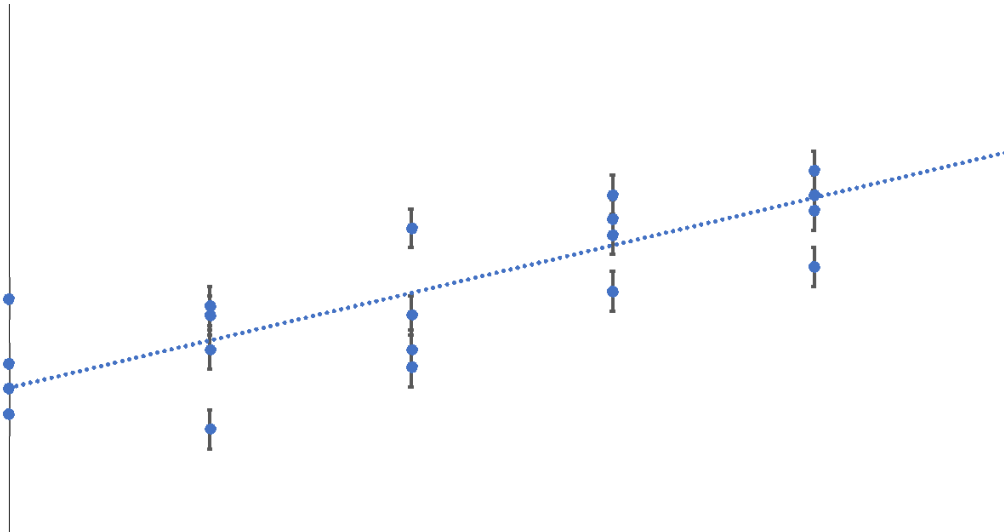
El nitrógeno, es uno de los nutrientes que presenta alta deficiencia en los suelos de textura arenosa <sup>(26)</sup>, por lo que requiere un manejo adecuado en estos tipos de sistemas productivos. Presenta una eficiencia que dependen de la mineralización, absorción, lixiviación, volatilización, por ello las practicas agronómicas y la eficiencia del cultivo son de suma importancia para una correcta absorción de este nutriente. 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 <sup>(37)</sup>.

**Tabla 5.** Eficiencia del uso del nitrógeno

Tratamientos		N* planta	Materia seca	Absorción de N	ERF	EA
Urea	N*					
Kg/ha		%	Kg/ha			
0	30	1,0	2230	21		
50	53	1,1	2167	24	0,1	-1,26
100	75	1,4	2980	43	0,2	7,5
150	98	1,9	3377	65	0,3	7,6
200	120	2,1	3520	73	0,3	6,45
250	143	2,6	4295	110	0,4	8,46

\*ERF: Eficiencia de Recuperación del Nitrógeno; EA: Eficiencia Agronómica; N: Nitrógeno

Conforme se incrementó la dosis de nitrógeno utilizando urea como fuente, aumenta progresivamente la concentración de nitrógeno total en la planta de avena (Tabla 5; Figura 3) acompañado de una alta eficiencia agronómica (EA), definido como la cantidad de nutriente que la planta puede lograr por cada kg de nitrógeno aplicado. Ensayos muestran la eficiencia del N en el cultivo de la avena bajo diferentes niveles, encontrando resultados promedios de 7 a 9 kg ha<sup>-1</sup> con la utilización de 0, 30, 60 y 120 kg de N ha<sup>-1</sup> <sup>(16)</sup>, resultados similares son observados en esta investigación donde la eficiencia agronómica osciló entre 7.5 a 8.46 kg de N ha<sup>-1</sup>. Asimismo <sup>(38)</sup>, destacan que las prácticas de conservación y la forma de la aplicación del nitrógeno son de suma importancia para incrementar la eficiencia del uso de este nutriente.



**Figura 3.** Efecto de los niveles de urea en la concentración de nitrógeno en la planta.

El conocimiento de la eficiencia agronómica del cultivo de la avena a nivel de sitio específico es importante ya que existe un tope de absorción por el cultivo y su aplicación puede conllevar a efectos negativos en el rendimiento del cultivo <sup>(39)</sup>. El rango típico de la eficiencia agronómica del nitrógeno fluctúa entre 10 y 25 kg MS/kg N <sup>(21)</sup>, en sistemas de cultivos bien manejados <sup>(40)</sup>

Por otra parte, la eficiencia de recuperación del nitrógeno implica prácticas que disminuyen pérdidas del nitrógeno considerando las pérdidas en el sistema, que en cereales se encuentra dentro de un rango entre 0.3 a 0.5 <sup>(41)</sup>. Los resultados obtenidos en esta investigación para el cultivo de la avena se encuentran dentro del rango (Tabla 5) para los niveles de 150, 200 y 250, lo que indica una buena recuperación del N aplicado. Sin embargo, los niveles menores presentaron baja eficiencia lo que puede atribuirse a la inmovilización por microorganismos, lixiviación y desnitrificación <sup>(42)</sup> por ello, dosis bajas conllevan a bajos rendimientos (Tabla 3) y baja absorción de N por el cultivo de avena (Figura 3).

## CONCLUSIONES

Con los datos obtenidos la fertilización nitrogenada en el cultivo de avena mejora el rendimiento de forraje verde y materia seca, al igual que la calidad bromatológica, principalmente los niveles de proteína bruta, mostrando una alta relación con ambas variables productivas.

La aplicación de nitrógeno incrementó la concentración de N en la avena, alcanzando 2,6 % con 113 kg de N ha<sup>-1</sup>, equivalente a una extracción de 26 kg de N por tonelada de biomasa. El aumento de los niveles de N como urea elevó el nitrógeno total en la planta, con alta eficiencia agronómica y adecuada recuperación del nutriente en las dosis de 150, 200 y 250 kg de U.

<b>Declaración de financiamiento:</b>	Financiamiento Facultad Ciencias de la Producción – Universidad Nacional de Caaguazú.
<b>Declaración de conflicto de intereses:</b>	Los autores declaran no tener conflictos de interés.
<b>Declaración de autores:</b>	Los autores aprueban la versión final del artículo.
<b>Contribución de autores:</b>	Conceptualización: Lourdes Andrea Velazquez-Mendoza; Curación de datos: Lourdes Andrea Velazquez-Mendoza; Análisis formal: Carlos Villalba-Martínez; Adquisición de fondos: Lourdes Andrea Velazquez-Mendoza; Investigación: Lourdes Andrea Velazquez-Mendoza; Metodología: Lourdes Andrea Velazquez-Mendoza, Rodolfo Heyn Micheletto; Administración del proyecto: Lourdes Andrea Velazquez-Mendoza; Recursos: Lourdes Andrea Velazquez-Mendoza; Software: Lourdes Andrea Velazquez-Mendoza; Supervisión: Rodolfo Heyn Micheletto; Validación: Rodolfo Heyn Micheletto; Visualización: Lourdes Andrea Velazquez-Mendoza, Rodolfo Heyn Micheletto; Redacción - borrador original: Lourdes Andrea Velazquez-Mendoza, Carlos Villalba-Martínez; Redacción - revisión y edición: Lourdes Andrea Velazquez-Mendoza, Carlos Villalba-Martínez
<b>Revisión por pares:</b>	Este artículo fue evaluado mediante un proceso de revisión por pares anónimos, conforme al procedimiento de transparencia editorial de la revista. Las observaciones y sugerencias de los revisores fueron consideradas por los autores hasta alcanzar la versión final publicada, garantizando la integridad científica del trabajo y la confidencialidad de los evaluadores.
<b>Disponibilidad de datos:</b>	Los datos están disponibles previa solicitud al autor corresponsal.

## REFERENCIAS

- Laino LD, Laino I, Musálem, K. Comercio internacional y competitividad de la producción ganadera en Paraguay. (en línea). Población y Desarrollo. 2018;24(46):99-109. Disponible en: <https://revistascientificas.una.py/index.php/RE/article/view/322/331>
- Martinez-Lopez R, Niz O, Diaz-Lezcano M, Centurion L. Dynamics of carbon storage in forage systems in a livestock farm in Concepción, Paraguay. Rev Fac Agron (LUZ). 2022;39(2):e223928.
- De Almeida RG. Integración agrícola-ganadera-forestal con enfoque al ganado de carne. 2017.
- Barsila SR. The fodder oat (*Avena sativa*) mixed legume forages farming: Nutritional and ecological benefits. J Agric Nat Res. 2018;1(1):206–22. Disponible en: <https://doi.org/10.3126/janr.v1i1.22236>
- Devkota NR, Upreti CR, Paudel LN, Joshi N. Production potentials of promising oat (*Avena sativa*) variety in Combination with legumes at farmers' field condition. Nepalese Journal of Agricultural Sciences. 2015;13:142–50. Disponible en: <https://goo.su/VjLLGb>
- Masci C, Ruquet V, Corbetta C, Zanettini JL. Avena: Pasto, pasto más heno, uso doble propósito. 2018. Disponible en: [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas\\_cultivadas\\_verdeos\\_invierno/130-avena\\_pasto\\_0.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_verdeos_invierno/130-avena_pasto_0.pdf)
- Parzanese MM. Evaluación productiva de novillitos en recría con diferentes estrategias de suplementación al pastoreo de verdeo de avena (*Avena sativa* L.). Argentina: Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires; 2024. [https://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/23601/901/18122024\\_PARZANESEMAGALI\\_ING\\_AGR.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/23601/901/18122024_PARZANESEMAGALI_ING_AGR.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ramírez S, Domínguez D, Salmerón J, Villalobos G, Ortega JA. Conteo en surco y etapa de madurez sobre la producción y calidad del forraje de variedades de avena. Arch Zootec 2015;64(247):237–44. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/53f9/7be2ddcbc241c528ac537017caf76b6db246.pdf>
- Chapin FS, Matson PA, Vitousek PM. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. 2a ed. Nueva York, Estados Unidos de América: Springer; 2011.
- LeBauer DS, Treseder KK. Nitrogen limitation of net primary productivity in terrestrial ecosystems is globally distributed. Ecology 2008;89(2):371–379. Disponible en: <https://doi.org/10.1890/06-2057.1>
- Knicker H. Soil organic N—an under-rated player for C sequestration in soils? Soil Biol. Biochem. 2011;43(6):1118–1129. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.02.020>
- Van Groenigen JW, Huygens D, Boeckx P, Kuyper TW, Lubbers IM, Rütting T, et al. The soil N cycle: new insights and key challenges. SOIL. 2015;1(1):235–56.

13. Johnson DW, Turner J. Nitrogen budgets of forest ecosystems: a review. *For. Ecol. Manag.* 2014;318:370–379. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.028>
14. Monsalve-c Ó, Gutiérrez DJ, Cardona W. Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas.* 2017;11(1):200-209. Disponible en <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5663>
15. Zamudio-González B, Mendoza-Nicolás E, Alcántar-González G, Etchevers-Barra J, Vázquez-Alarcón A. Pérdidas de nitratos y salinización del suelo por riego por goteo con nitrógeno. *Terra Latinoam.* 2021;29(3):239-248. Disponible en [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792011000300239&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792011000300239&script=sci_arttext)
16. Mantai RD, Silva JAG da, Carbonera R, Carvalho IR, Lautenchleger F, Pereira LM. Technical and agronomic efficiency of nitrogen use on the yield and quality of oat grains. *Rev Bras Eng Agric Ambient.* 2021;25(8):529-537. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n8p529-537>
17. Devi U, Panghaal D, Kumar P, Sewhag M, Kumar P. Effect of nitrogen fertilizers on yield and quality of oats: A Review. *International Journal of Chemical Studies.* 2019;7(2):1999-2005. Disponible en: <https://www.chemijournal.com/archives/2019/vol7issue2/PartAH/7-2-440-976.pdf>
18. Coblenz WK, Akins MS, Cavadini JS, Jokela WE. Net effects of nitrogen fertilization on the nutritive value and digestibility of oat forages. *J Dairy Sci.* 2017;100(3):1739–50. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2016-12027>
19. Martínez D, Leiva K. Efecto del biol sobre la producción de biomasa y calidad del pasto Maralfalfa (*Pennisetum sp*), en un segundo rebrote, Centro Experimental El Plantel, 2018. Managua: Universidad Nacional Agraria; 2019.
20. Ospina RO, Anzola Vasquez HJ, Ayala DO, Baracaldo MA, Arévalo CJ, Lozada WP. Comparison between red, green and blue images and nearinfrared spectroscopy methods in the neutral detergent fiber (NDF) analysis. *Rev Investig Vet Perú.* 2021;32(1):e17498. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/RIVEP.V32I1.17498>
21. International Plant Names Index. 4R Plant Nutrition Manual: A Manual for Improving the Management of Plant. 2012.
22. Caldas - López S, Vega -Jara L. Fertilización nitrogenada del cultivo de avena forrajera: su efecto en el rendimiento y eficiencia agronómica de Nitrógeno. *RelnA.* 2020;2(1):26–32. Disponible en: <https://repis.unheval.edu.pe/index.php/reina/article/view/833>
23. Dietz JL, Schierenbeck M, Martínez N, Simon MR. Aplicación de fungicidas y fertilización nitrogenada en avena: efectos sobre la generación de biomasa aérea y rendimiento. *Secc. Cienc. agrar.* 2016;15(2):17-30. Disponible en: [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1666-77192016000200002&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1666-77192016000200002&script=sci_arttext)
24. Gutiérrez F, Loayza C, Portilla A, Espinosa J. Evaluación de dosis de nitrógeno sobre la acumulación de biomasa, composición bromatológica y eficiencia de uso en avena forrajera (Avena sativa), variedad Dorada. *Siembra* 2018;5(1):071–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1428>
25. Fontanetto H, Keller O, García F, Ciampitti I. Fertilización nitrogenada en avena. *Informaciones agronómicas.* 2017;(38):25-26. Disponible en: <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2008/06/6.pdf>
26. Rivero-Villar A, Ruiz-Suárez G, Templer PH, Souza V, Campo J. Nitrogen cycling in tropical dry forests is sensitive to changes in rainfall regime and nitrogen deposition. *Biogeochemistry.* 2021;153(3):283–302. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s10533-021-00788-6>
27. Wu K, Wang Y, Liu Z, Huo W, Cao J, Zhao G, et al. Prediction of potential invasion of two weeds of the genus Avena in Asia under climate change based on Maxent. *Sci Total Environ* 2024;950(175192):175192. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175192>
28. O'Brien JA, Vega A, Bouguyon E, Krouk G, Gojon A, Coruzzi G, et al. Nitrate Transport, Sensing, and Responses in Plants. *Planta Mol.* 2016;9(6):837–56. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.molp.2016.05.004>
29. González-Urbe RA, Cuesta-Peralta A, Carvajal-Salcedo T, Gracia-Díaz TF. Producción de forraje y composición nutricional de cuatro variedades de Avena sativa L. en Ubaté, Cundinamarca, Colombia. *Pastos y Forrajes.* 2021;44:1-7. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942021000100028&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942021000100028&script=sci_arttext)
30. Pecio A, Bichonski A. Nitrogen fertilization and fungicide application as elements of oat production. *Polish Journal of Environmental Studies* 2010;19(6):1297-1305. Disponible en: <https://www.pjoes.com/pdf-88509-22368?filename=22368.pdf>
31. Kumar A, Sheoran P, Kumar N, Devi S, Kumar A, Malik K, et al. Elucidating morphogenic and physiological traits of rice with nitrogen substitution through nano-nitrogen under salt stress conditions. *BMC Plant Biology* 2024;24(1):908. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05569-5>
32. Hernández-Campuzano AV, Martínez-Rueda CG, Estrada-Campuzano G, Dominguez-Lopez A. Efecto de la fertilización nitrogenada y del genotipo sobre el rendimiento y el contenido de nitrógeno y  $\beta$ -glucanos en el grano de la avena (Avena sativa L.). *RIA Rev Investig Agropecu.* 2018;44(2):88–95. Disponible en: [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1669-23142018000200013&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1669-23142018000200013&script=sci_arttext)
33. Duan H, Liu L, Wang W, Li S, Shi Z, Liang G, et al. El rasgo de permanencia verde mejora el rendimiento de grano, la calidad nutricional y la capacidad de germinación de las semillas de avena (Avena sativa L.) en la meseta Qinghai-Tíbet. *Plants.* 2025;14(16):2500. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/plants14162500>

34. Gil Gil H, Martínez Rueda C, Estrada Campuzano G. Impacto del sistema de labranza y dosis de nitrógeno en el rendimiento y calidad nutricional de forraje de avena. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 2014;5(6):951-964. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000600004&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342014000600004&script=sci_abstract&tlng=pt)
35. Zamora V, Lozano A, López B, Reyes V, Díaz S, Martínez R, Fuentes R. Clasificación de triticales forrajeros por rendimiento de materia seca y calidad nutritiva en dos localidades de Coahuila. Técnica Pecuaria en México. 2002;40(3):229-242. Disponible en: <https://goo.su/wwZPOz>
36. Flores Félix E, Casillas HM, Viramontes UF, Talavera MCP. Disponibilidad de nitrógeno y desarrollo de avena forrajera (avena sativa L.) Con aplicación de biosólidos. Terra Latinoam. 2014;32(2):99-105. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792014000200099&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792014000200099&script=sci_arttext)
37. Guerrero, JM. 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, 2012.
38. Marouani A, Harbeoui Y. Eficiencia de uso de nitrógeno en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). Acta agronómica. 2016;65(2):164-169. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/acag.v65n2.48200>
39. Andreu J, Betrán J, Delgado I, Espada JL, Gil M, Gutiérrez M, Iguácel F, Isla R, Muñoz F, Orús F, Pérez M, Quílez D, Sin E, Yagüe M R. Fertilización nitrogenada guía de actualización. España: Gobierno de Aragón, Departamento de Agricultura y Alimentación; 2006. Disponible en: <https://url-shortener.me/HNP3>
40. González Torres A, Figueroa Viramontes U, Preciado Rangel P, Núñez Hernández G, Luna Ortega JG, Antuna Grijalva O. Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 2016;7(2):301-309. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n2/2007-0934-remexca-7-02-00301.pdf>
41. Snyder CS, Bruulsema, TW. Nutrient use efficiency and effectiveness in North America. Publ. Int. Plant Nutr. Inst. IPNI; 2007. Disponible en: <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/eficiencia-de-uso-de-nutrientes.pdf>
42. Castro-Luna I, Gavi-Reyes F, Peña-Cabrales JJ, Núñez-Escobar R, Etchevers-Barra, JD. Eficiencia de recuperación de N y K de tres fertilizantes de lenta liberación. Terra Latinoamericana. 2006;24(2):277-282. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311108015.pdf>