

Artículo Original

**Fuentes y dosis de fertilizantes nitrogenados en cultivo de
maíz para ensilado**
**Sources and doses of nitrogenated fertilizers in corn
cultivation for silage**

**Rául Gutierrez Peña¹ , Luis Alberto Alonzo Griffith² , *Jimmy Walter
Rasche Alvarez³ **

¹Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. San
Lorenzo, Paraguay

²Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Área
Producción Animal. San Lorenzo, Paraguay

³Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Área Suelos
y Ordenamiento Territorial. San Lorenzo, Paraguay

RESUMEN

En el Paraguay, el maíz ocupa el segundo rubro en área de siembra y es el cultivo que requiere más demanda de N, principalmente por medio de la fertilización química. Con el objetivo de evaluar dos fuentes de fertilizante nitrogenado, así como dosis creciente de las mismas sobre la producción de maíz para ensilado, fue realizado un experimento en diseño de bloques completos al azar, con arreglo bifactorial, dos fuentes de N (urea y sulfato de amonio) y 6 dosis de N (0, 40, 80, 120, 160 y 200 kg ha⁻¹) y cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron altura de planta (AP), producción de materia verde (PMV), contenido de materia seca (%MS), producción de materia seca (PMS), proteína bruta (PB), fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA). Los datos fueron sometidos a ANAVA y cuando hubo respuesta significativa se realizó comparación de medias a través del test de Tukey al 5% de probabilidad de error entre las fuentes y curva de regresión entre las dosis. La AP fue influenciada por la fuente de N no así el PMV, %MS y PMS, sin embargo, con excepción del %MS todas las demás variables respondieron a la dosis de N, ajustándose a ecuaciones lineales, sin llegar al pico de producción. La PB presentó interacción entre factores, ajustándose a ecuaciones cuadráticas, disminuyendo el porcentaje de proteína al aplicar altas dosis de N. La FDN fue mayor cuando se aplicó N en forma de urea, sin embargo, no fue afectada por la dosis de N. La FDA presentó interacción entre los factores, disminuyó con dosis crecientes de urea, sin embargo, no varió con la aplicación de sulfato de amonio. La fuente de N influye en la composición bromatológica, la dosis de N influye en la cantidad y calidad del maíz.

Palabras-clave: composición bromatológica, urea, sulfato de amonio.

ABSTRACT

Corn is the second item in Paraguay in planting area and is the crop that requires the most demand for N, mainly through chemical fertilization. With the objective of evaluating two sources of nitrogenous fertilizer, as well as

Autor de correspondencia: Jimmy Walter Rasche Alvarez. Docente Investigador de
Tiempo Completo asociado a la Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, Paraguay
Email: jwrasche@agr.una.py

Fecha de recepción: mayo 2022 Fecha de aceptación: agosto 2022



Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons

their increasing dose on the production of corn for silage, an experiment was carried out in a randomized complete block design, with a bifactorial arrangement, two sources of N (urea and sulfate of ammonium) and 6 doses of N (0, 40, 80, 120, 160 and 200 kg ha⁻¹) and four repetitions. The variables evaluated were plant height (AP), green matter production (PMV), dry matter content (%DM), dry matter production (PMS), crude protein (CP), neutral detergent fiber (FDN) and fiber acid detergent (FDA). Data were submitted to ANOVA and when there was a significant response, means were compared using Tukey's test at 5% probability of error between sources and regression curve between doses. The AP was influenced by the N source, but not the PMV, %DM and PMS, however, with the exception of %DM, all the other variables responded to the N dose, adjusting to linear equations, without reaching the production peak. The CP presented an interaction between factors, adjusting to quadratic equations, decreasing the percentage of protein when applying high doses of N. The NDF was higher when N was applied in the form of urea, however, it was not affected by the dose of N. FDA presented an interaction between the factors, it decreased with increasing doses of urea, however, it did not vary with the application of ammonium sulfate. The source of N influences the bromatological composition, the dose of N influences the quantity and quality of the corn.

Keywords: bromatological composition, urea, ammonium sulfate.

INTRODUCCIÓN

El maíz tiene importancia social, cultural y económica, es considerado como un rubro estratégico, dada su importancia en la dieta humana y animal, además de constituir una fuente generadora de empleos, debido al gran número de personas que lo cultiva en el mundo y por la cadena de servicios que se forman a partir de este (Ranum et al. 2014).

En el mundo la extensión de la superficie dedicada al cultivo de cereales se situaba en torno a los 724,3 millones de hectáreas, de las cuales el área cultivada con maíz es de 197 millones de hectáreas con una la producción mundial de 1.159 millones de toneladas, ocupando el tercer puesto en relación a superficie de cereales sembrados, quedando detrás del trigo y el arroz (USDA, 2020). En el Paraguay, en la zafra 2021 la producción fue de 3,5 millones de toneladas en una superficie de 850.000 hectáreas cosechadas con un rendimiento de 4,15 t ha⁻¹, siendo el maíz de Paraguay destinado principalmente a la producción de granos (CAPECO, 2022).

En lo que se refiera a la producción de maíz para su utilización como forraje mediante el picado del mismo o mediante el ensilado, se busca disminuir costos de alimentación o ganar desempeño animal, ya que el maíz de esa manera constituye un alimento voluminoso, especialmente cuando la producción de forraje disminuye, de manera a suplir las necesidades de ingesta diaria de alimentos en el bovino para producción de carne o leche (Novaes et al. 2004).

Para una buena producción animal se debe proveer forraje de calidad, y esto solo se logra con un manejo oportuno del mismo, partiendo de la fertilización del cultivo hasta la época de corte oportuno a fin de lograr un alimento con valor nutritivo adecuado (Meinerz et al. 2011; Gandara et al. 2017).

El maíz es calificado como un cultivo exigente en nutrientes, en general, el nitrógeno es el nutriente más limitante para la producción de maíz y es considerado el más importante para un buen desarrollo del cultivo (Sangoi et al. 2010). La eficiencia de la absorción de N aplicado vía fertilizantes por las

plantas normalmente es menor al 60% habiendo pérdida por lixiviación y/o volatilización (Broch y Ranno, 2008), por lo que generalmente su aplicación se realiza en forma fraccionada, buscando el mayor aprovechamiento por la planta y consecuentemente aumentando la producción (Pull y Rasche 2015). Este elemento juega un papel importante en el índice de área foliar, la senescencia de las hojas y la actividad fotosintética, rendimiento, contenido en proteínas del grano y la calidad del grano (García y Espinosa, 2009). Cuando la planta padece deficiencias de N, disminuye el vigor y las hojas son más pequeñas, las puntas de las hojas se vuelven amarillentas, y las mazorcas procedentes de plantas que han sufrido falta de nitrógeno tienen las puntas vacías de grano (Paredes, 2013).

En cuanto a requerimientos del cultivo de maíz para producir, la dosis de N recomendada es bastante variable. Cubilla et al. (2012) sostienen que por cada tonelada de grano de maíz que se desea producir se debe aplicar 15 kg de N. A su vez, Melgar y Torres (2016) afirman que el maíz requiere alrededor de 20 a 25 kg ha⁻¹ de N por cada tonelada de grano producido. En ensayos llevados en la región de la Pampa, Argentina los mismos autores constataron que, para maximizar los rendimientos del cultivo, la disponibilidad de nitrógeno en el suelo debe ser de 140 a 150 kg ha⁻¹.

En relación a la fuente de N para el maíz, Valadares et al. (2014) no observaron diferencia en la producción de materia verde de maíz para ensilado por la aplicación de N en la forma de urea (48 t ha⁻¹) o de sulfato de amonio (54 t ha⁻¹), cuando aplicado en misma dosis, siendo la producción de ambos superiores al testigo (21 t ha⁻¹), sin embargo, en suelo calizos la aplicación de sulfato de amonio permitió mayor absorción de Zn, Mn, Fe y S por la planta de maíz. En relación a las pérdidas de N de acuerdo a las investigaciones de Larios-González et al. (2021) y Jadon et al. (2018) existe mayor pérdida de N al aplicar urea que sulfato de amonio.

En ese sentido, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar dos fuentes de fertilizante nitrogenado, así como dosis creciente de las mismas sobre la producción de maíz para ensilado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en la ciudad de Piribeby, compañía Ita Ybú, Departamento de Cordillera, distante a 64 km de la ciudad de Asunción, geográficamente entre las coordenadas, latitud 25°26'29.81"S, longitud 57°5'35.17"O, con 291 msnm.

El suelo característico de la región pertenece al sub grupo Typic Quartzipsamment, cuyas características predominantes son suelos profundos, derivados de areniscas, en la fracción arena (0,02 a 2 mm) más del 90% de minerales resistentes, con transición difusa entre horizontes, generalmente presenta un horizonte órico. Son suelos de textura franco arenosa, con saturación de bases inferior a 5 cmol_ckg⁻¹ y suma de base no más de 2 cmol_ckg⁻¹ (López et al. 1995), las características químicas del suelo son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Características químicas del suelo utilizado para el experimento de fuentes y dosis de fertilizantes nitrogenados sobre el cultivo de maíz para ensilado. Piribebuy, 2021.

Prof. cm	M.O. %	pH	P mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹						Cl C
				Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H ⁺ + Al	
0-20	1,20	5,3 0	10,40	0,59	0,43	0,06	0,00	0,12	2,67	3,8 7

El departamento de Cordillera posee un clima templado húmedo (Cfa). La temperatura promedio anual es de 21,6° C y la precipitación anual es de 1400-1500 mm (Pastén et al. 2011).

La investigación se realizó utilizando un diseño experimental bifactorial (2 x 6), donde el factor A fue la fuente de N (Urea y Sulfato de amonio) y el factor B las dosis crecientes de N (T1: 0 kg ha⁻¹, T2: 40 kg ha⁻¹, T3: 80 kg ha⁻¹, T4: 120 kg ha⁻¹, T5: 160 kg ha⁻¹ y T6: 200 kg ha⁻¹), los mismos fueron dispuestos en bloques completos al azar, con 4 repeticiones. Totalizando 48 unidades experimentales. La dosis recomendada según el análisis de suelo fue de 160 kg ha⁻¹. La dimensión de cada unidad experimental fue 3 m x 2,7 m, totalizando 388,8 m² de experimento.

En el área experimental primeramente se realizó una extracción del suelo en la camada 0-20 cm para su posterior análisis y obtención de resultados (Tabla 1), luego se procedió a la aplicación de cal agrícola 2 t ha⁻¹, al laboreo del suelo con una arada y dos rastreadas, posteriormente fue delimitada la unidades experimentales considerando la pendiente del terreno para demarcar los bloques.

La siembra del maíz híbrido (BR-106), fue realizada el 16 de agosto de 2021 con la ayuda de una sembradora, a razón de una semilla por hoyo, a una distancia de 0,4 m entre plantas, y una distancia de 0,45 m entre hileras, totalizando 6 hileras por unidad experimental. En la siembra también fueron aplicados en todos los tratamientos dosis única de súper fosfato triple (120 kg ha⁻¹ de P₂O₅) y cloruro de potasio (120 kg ha⁻¹ de K₂O) según recomendación (Cubilla et al. 2012).

La aplicación de las dosis de nitrógeno fue realizada de manera manual según cada dosis y fuente de fertilizante nitrogenado a evaluar. En el momento de la siembra se aplicó 30 kg ha⁻¹ de N, a excepción del testigo, y el N restante fue aplicado cuando la planta del maíz presentó de 4 a 6 hojas verdaderas (30 días después de la siembra).

Las unidades experimentales fueron monitoreadas de tal forma a evitar la proliferación de malezas, plagas y enfermedades que contrarresten los resultados. Se aplicó insecticidas piretroide para el control de *Spodoptera* sp. en dos oportunidades según dosis recomendada por el fabricante y se carpió dos veces el experimento, así también se realizó riegos manuales semanalmente (15 mm una vez a la semana) para evitar la muerte del maíz por la sequía inicialmente (Figura 1).

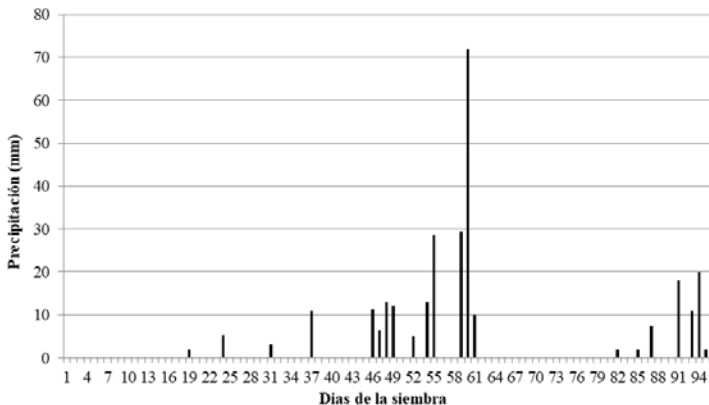


Figura 1. Precipitación diaria en el experimento sobre fuentes y dosis de fertilizantes nitrogenados sobre el cultivo de maíz para ensilado, desde el día de la siembra (16 de agosto) hasta la cosecha (18 de noviembre). Piribebuy, 2021.

Las variables estudiadas fueron: Altura al momento de corte: en el cual se midió en metros desde la base del tallo hasta la punta de la inflorescencia de la planta; Producción de materia verde: se cosechó las plantas de tres hileras centrales, desde la base en cada unidad experimental y se determinó la producción de materia verde en kg ha^{-1} ; Producción de materia seca: la muestra cosechada para determinar materia verde fue triturada y una parte fue pesada y llevada a estufa a 65°C hasta obtener peso constante, luego se pesó y se determinó la producción de materia por medio del contenido de materia seca en porcentaje y fue extrapolado en kg ha^{-1} ; Composición Bromatológica: del mismo material obtenido para determinación de materia seca, fue molido (1 mm) y se procedió a realizar los análisis químicos de proteína bruta (PB) el cual fue obtenido por el método de Kjeldahl (Tedesco et al., 1995), la fibra detergente neutra (FDN) y la fibra detergente ácida (FDA) fueron obtenidas a través del método de Van Soest (1970).

Los datos obtenidos fueron sometidos al test de normalidad y luego a análisis de varianza, con la utilización del programa estadístico agroestat, y cuando se detectó diferencias estadísticas significativas entre las medias de las variables evaluadas fueron comparadas a través del test de Tukey al 5% de probabilidad de error entre las fuentes y curva de regresión entre las dosis.

RESULTADOS

Cuando se compara la fuente de nitrógeno en las variables altura de planta, porcentaje de materia seca, producción de materia verde y producción de materia seca, solo se observó efecto significativo para la variable altura de planta de maíz (Tabla 2).

En relación a las dosis de N se constata que apenas en el porcentaje de materia seca no hubo influencia significativa, sin embargo, se observó respuesta significativa de la aplicación de N para la altura de planta, materia verde y materia seca de maíz (Tabla 2). No se observó interacción entre los factores analizados para estas cuatro variables analizadas.

Tabla 2. Contenido de materia seca, producción de materia seca y producción de materia verde de maíz para ensilado en función a la fuente de nitrógeno (urea o sulfato de amonio) y dosis de nitrógeno aplicado. Piribebuy, Cordillera. 2021.

	Altura de planta (m)	Materia seca %	Materia verde (kg ha ⁻¹)	Materia seca (kg ha ⁻¹)
Fuente de N				
Urea	1,78 b*	26,7 ^{ns}	34.151 ^{ns}	9.105 ^{ns}
Sulfato de amonio	1,85 a	27,0	34.558	9.272
CV (%)	5,7	11,6	14,7	17,4
Dosis de N (kg ha⁻¹)				
0	1,67 c	27,5 ^{ns}	22.783 e	6.231 d
40	1,81 abc	26,5	31.284 cd	8.233 bcd
80	1,76 bc	27,0	29.173 de	7.854 cd
120	1,84 ab	28,1	36.830 bc	10.339 ab
160	1,84 ab	25,5	40.276 ab	10.246 abc
200	1,95 a	26,7	45.781 a	12.220 a
CV (%)	5,7	11,6	14,7	17,4

* Medias con letra diferente en columnas son significativamente diferentes (p<0,05). ^{ns}: no significativo
CV: coeficiente de variación.

En el caso de la altura de planta de maíz, según la ecuación de regresión lineal por cada kg de nitrógeno aplicado se observa un aumento de crecimiento de 0,11 cm en el maíz (0,0011m) no observándose aún la máxima altura de planta por efecto de la dosis de N aplicado, por lo que existe una respuesta lineal de la dosis de N sobre la altura del maíz (Figura 2a).

La aplicación de N fue positiva a la producción de materia verde (Figura 2b) y materia seca de maíz (Figura 2c), demostrando que este cultivo ofrece una buena respuesta a la fertilización nitrogenada. En el caso de la materia verde, sin importar la fuente de N, por cada kg de N aplicado se observó un aumento de 106,87 kg de materia verde en el maíz destinado para silaje, no llegando al punto de inflexión de la curva, por lo que posiblemente a dosis superiores aun aumentaría la producción de materia verde (Figura 2b). En el caso de la materia seca, así como en la materia verde, el mayor rendimiento se obtuvo con la mayor dosis de N (200 kg ha⁻¹), alcanzando una producción de 12.220 kg ha⁻¹ de rendimiento comercial, lo que significa que aún no se llegó al pico de producción de materia seca con esa dosis (Figura 2c). El tratamiento con mayor dosis de N produjo 95,6% más materia seca que el testigo. De acuerdo a la ecuación por cada kg de N aplicado se obtiene una ganancia de 27,478 kg de materia seca de maíz para ensilado.

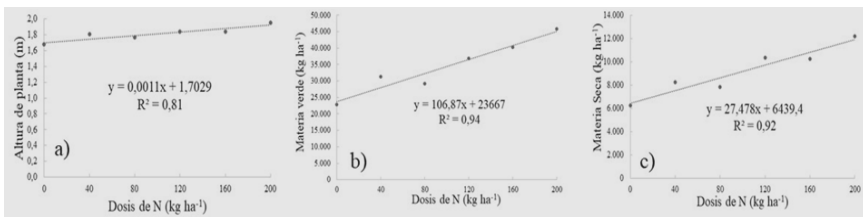


Figura 2. Respuesta de la fertilización nitrogenada sobre la a) altura de planta de maíz b) producción de materia verde y c) producción de materia seca de maíz para ensilado en función a dosis crecientes de nitrógeno. Piribebuy, Cordillera. 2021.

Con relación a la altura de planta, aunque es una característica genética, proporcionar nutrientes de manera adecuada permite que el fenotipo exprese la altura de mejor manera. En el caso del sulfato de amonio puede ser que la aplicación de S junto con el N permitió que la planta pueda aprovechar mejor el N absorbido por el maíz permitiendo a esta mayor altura de planta. El aumento de la altura de planta es un factor deseable cuando se produce maíz para ensilado, ya que plantas con mayor altura tendrán mayor producción de materia verde, sin embargo, se debe cuidar que no afecte la calidad bromatológica del producto final, ya que el maíz con mayor altura puede producir mayor peso de tallos en relación a espiga (Melo et al. 1999).

El nitrógeno constituye un elemento fundamental para el crecimiento de los cultivos, tanto en altura como en desarrollo, considerando que este participa en varios procesos de producción de metabolitos, así como en la síntesis de estos para un buen desarrollo del cultivo, ya que el N condiciona el establecimiento y el mantenimiento de la capacidad fotosintética de las hojas y la determinación de la capacidad de los destinos reproductivos, sin embargo, el N suele perderse en parte cuando es colocado en la forma de urea debido a que esta debe inicialmente transformarse de NH_2 a NH_4^+ para ser absorbida por el cultivo, sin embargo, en el caso del sulfato de amonio el N ya se encuentra en la forma de NH_4^+ .

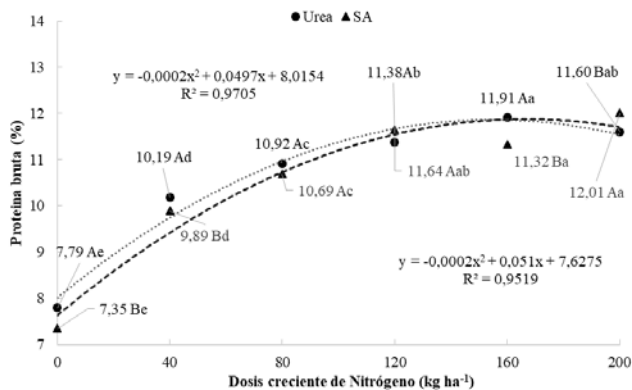
Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Glasenapp et al. (2013) quienes obtuvieron aumento de altura de planta de maíz con la aplicación de hasta 240 kg ha^{-1} de N. No obstante, existen investigaciones en el cual no hay respuesta en altura de planta de maíz a la fertilización con N como el de Neumann et al. (2019), eso es debido a la alta variabilidad de suelo, clima y cultivo que puede influenciar en la pérdida de N en el suelo y la capacidad de absorción de N por las plantas.

Los resultados sobre producción de materia verde coinciden con Valadares et al. (2014), Araldi y Bigaton (2020) quienes tampoco constataron efecto de la fuente de N sobre la producción de materia verde de maíz para ensilado, pero sí efecto positivo de la aplicación de N, cuando comparado al tratamiento sin aplicación de N. Resultado similar fue constatado por Meira et al. (2009), quienes tampoco observaron diferencia en la producción de maíz cuando evaluaron como fuente de N a la urea y el sulfato de amonio. Cabe resaltar que los mismos emplearon sistema de riego en su investigación. Araldi y Bigaton (2020) tampoco observaron efecto de la fuente de N (urea o sulfato de amonio) sobre la producción de materia verde y materia seca de maíz para ensilado, tanto en producción de zafra como en zafriña.

En cuanto a la materia seca, la ausencia de respuesta con el aumento de la dosis de N, posiblemente fue debido a que no se llega a un exceso de N, ya que aún no se llegó al pico de producción de materia seca de maíz, según la ecuación encontrada, ya que la respuesta de la producción de materia seca a la fertilización nitrogenada es aún lineal, dando como resultado una producción promedio de 9.189 kg ha^{-1} de MS. Resultados similares fueron obtenidos por Glasenapp et al. (2013), quienes obtuvieron aumento lineal de materia seca de maíz para ensilado con dosis de N de hasta $240 \text{ kg de N ha}^{-1}$, sin embargo, la ganancia de producción de MS por cada kg de N aplicado se obtenido por estos autores fue de $18,65 \text{ kg}$, menor que del presente experimento ($27,478 \text{ kg}$). También Neumann et al. (2019) observaron respuesta lineal positiva a la aplicación de N sobre la producción de materia seca hasta dosis de $240 \text{ kg de N ha}^{-1}$.

En relación a la proteína encontrada en los tratamientos se constató que hubo interacción entre los factores fuentes y dosis de nitrógeno (Figura 3).

En relación a la fuente se puede observar que en las primeras dosis de N (0 y 40 kg ha⁻¹) hubo mayor contenido de proteína donde se utilizó urea, así como en la dosis de 160 kg ha⁻¹ de N, sin embargo, en la mayor dosis de N (200 kg ha⁻¹) fue mayor la concentración de proteína cuando se aplicó el N en la forma de sulfato de amonio (Figura 3). En relación a las dosis, ambos presentaron comportamiento cuadrático, disminuyendo el porcentaje de proteína al aplicar altas dosis de N. En el caso de la fertilización con urea se constata que se alcanza el máximo porcentaje de proteína (11,10%) con la aplicación de 124 kg ha⁻¹ de N, ya cuando se utiliza sulfato de amonio según la ecuación se logra 10,88% de proteína aplicando 128 kg ha⁻¹ de N, dosis un poco superior que aplicando urea.



Medias seguidas por letras minúsculas diferentes difieren estadísticamente entre dosis de N y letras mayúsculas entre fuentes para cada dosis (en caso de proteína) por el test de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Figura 3. Contenido promedio de proteína bruta en maíz para ensilado en función a la fuente de nitrógeno (urea o sulfato de amonio) y dosis de nitrógeno aplicado. Piribebuy, Cordillera. 2021.

La calidad del ensilado es tan importante como la cantidad del ensilado ya que mientras mejor sea la calidad nutricional del alimento voluminoso menor será el costo invertido en los concentrados utilizados. Considerando que la proteína está compuesta por N, era de esperarse que a mayor dosis de N aplicado al suelo se obtendría mayor concentración de proteína, sin embargo, se observa reducción de la concentración de proteína con las dosis de urea más elevadas. Glasenapp et al. (2013), también encontraron respuesta cuadrática para la proteína bruta, donde la dosis estimada de N para la obtención de la máxima concentración de proteína fue de 180 kg ha⁻¹ de N, sin embargo, el % de proteína bruta fue de 7,5 %, muy inferior a lo estimado en el presente experimento (11,10% con la aplicación de 124 kg ha⁻¹ de N).

Otras investigaciones también reportan que la aplicación de altas dosis de N permite el aumento del rendimiento de materia seca del maíz para ensilado, sin embargo, sin alterar el porcentaje de proteína bruta por efecto de las dosis

de N, quedando el promedio de proteína con 7,23% (Neumand et al. 2019). Valor inferior al del presente experimento.

En relación a la fuente de N, Araldi y Bigatón (2020) no observaron efecto de la fuente de N (urea o sulfato de amonio) sobre el contenido de proteína bruta del maíz para ensilado, oscilando los valores entre 7,10% para la urea y 7,17% para el sulfato de amonio, valores inferiores a los encontrados en el presente experimento. Tampoco Seratto et al. (2010) observaron diferencia en el contenido de proteína por efecto de la fuente de N (9,2% para la urea y 9,4% para el sulfato de amonio), sin obtener variaciones en el porcentaje de proteína por el efecto de las dosis de N aplicada al maíz.

En relación a la fibra detergente neutra (FDN) se observa que solo hubo efecto de la fuente de N, no así en el caso de la dosis de N aplicada, no hubo interacción entre factores (Tabla 3).

Tabla 3. Contenido de fibra detergente neutra en maíz para ensilado en función a la fuente de nitrógeno (urea o sulfato de amonio) y dosis de nitrógeno aplicado. Piribebuy, Cordillera. 2021.

Fuente de N	FND %
Urea	58,18 a
Sulfato de amonio	55,19 b
Dosis de N (kg ha⁻¹)	FND %
0	56,20 ^{ns}
40	55,63
80	57,28
120	57,99
160	57,20
200	55,79
Promedio	56,58
CV (%)	5,4

* Medias con letra diferente en columnas son significativamente diferentes ($p < 0,05$). ^{ns}: no significativo
CV: coeficiente de variación.

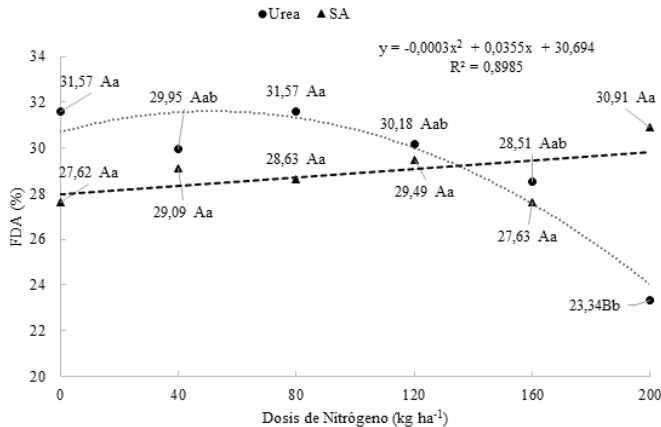
Cuando el N fue aplicado en la forma de urea hubo 3% a más de fibra detergente neutra que al aplicarse sulfato de amonio (Tabla 3), ya en lo que se refiere a la dosis de N, los valores de las medias de los tratamientos oscilaron entre 55,63% en el tratamiento con 40 kg ha⁻¹ de N a 57,99% cuando se aplicó 120 kg ha⁻¹ de N, siendo el promedio general del experimento de 56,58% de fibra detergente neutra.

Glasepp et al. (2013) tampoco encontraron respuesta para la FDN, observando valores promedios próximo al 51%, que es inferior el presente experimento (56,58%). Al contrario del presente experimento, Neumann et al. (2019) constataron aumento de la FDN por la aplicación de dosis de N pasando de 55,76%, 58,65% y 62,98% para las dosis de 135, 175 y 225 kg ha⁻¹ de N, aplicados en cobertura, aumento lineal del porcentaje de FDN, valores de FDN poco superiores al presente experimento.

En relación al porcentaje de fibra detergente ácida (FDA) en maíz para ensilado en función a la fuente de nitrógeno se observó interacción entre ambos factores (Figura 4).

Al comparar las distintas fuentes para la misma dosis de N, se constata que en la mayor dosis de N (200 kg ha⁻¹) se presentó mayor porcentaje de FDA cuando se aplicó sulfato de amonio en comparación a la urea (Figura 4). No se observó incremento del porcentaje de FDA cuando se aplicó dosis crecientes de N, sin embargo, en el caso de la urea, se observa que

inicialmente aumenta el porcentaje de FDA, sin embargo, a mayores dosis disminuye el porcentaje de FDA. Derivando la ecuación cuadrática obtenida para la aplicación de urea se constata que la máxima concentración de FDA (31,74%) se logra con la dosis de 59 kg ha⁻¹ de N en forma de urea. Para el caso de la FDA con las dosis de sulfato de amonio no hay ecuación porque no se observó diferencia significativa entre dosis de N, arrojando un valor promedio de 28,9%.



Medias seguidas por letras minúsculas diferentes difieren estadísticamente entre dosis de N y letras mayúsculas entre fuentes para cada dosis (en caso de fibra detergente ácida) por el test de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Figura 4. Porcentaje de fibra detergente ácida en maíz para ensilado en función a la fuente de nitrógeno (urea o sulfato de amonio) y dosis de nitrógeno aplicado. Piribebuy, Cordillera. 2021.

La FDA está compuesta por parte de la pared celular conformada por celulosa ligada a lignina, esta fracción es un indicador indirecto del grado de digestibilidad del forraje: mientras mayor sea la FDA menor es la digestibilidad del forraje, por tanto, es benéfico que con la urea ocurra disminución de la FDA. Al contrario del presente experimento, Neumann et al. (2019) constataron aumento de la fibra detergente ácida por efecto de la aplicación de dosis de N pasando de 25,75%, 25,93% y 30,05%, para las dosis de 135, 175 y 225 kg ha⁻¹ de N, respectivamente aplicados en cobertura, aumento lineal del porcentaje de FDA, similares al presente experimento. Por otro lado, Glasenapp et al. (2013) no encontraron respuesta para la FDA, observando valores promedios próximo al 23,5%, valor medio inferior el presente experimento.

Por los resultados obtenidos se puede sostener que existen diferencias entre la aplicación de una y otra fuente de N y que el aumento de las dosis de nitrógeno afecta de forma diferenciada a los parámetros de crecimiento y producción de la planta y calidad bromatológica de la misma, debiendo en cada caso observar que se desea obtener, mayor cantidad de materia seca por superficie o mayor calidad bromatológica del maíz, y de acuerdo a eso definir la dosis y forma de N a aplicarse.

CONCLUSIÓN

La altura de planta es mayor cuando aplicado N en forma de sulfato de amonio que en forma de urea y aumenta con la dosis de N, respondiendo en forma linealmente hasta la dosis de 200 kg ha⁻¹.

La producción de materia verde y producción de materia seca no son influenciadas por la fuente de fertilización nitrogenada, pero responden a la dosis de nitrógeno, ajustándose a ecuaciones lineales, demostrando que aún no se llegó al pico de producción con la dosis de 200 kg ha⁻¹ de N. El porcentaje de materia seca no fue influenciado ni por la fuente, ni por la dosis de N.

La proteína bruta presenta interacción entre factores, disminuyendo el porcentaje de proteína al aplicar altas dosis de N. La dosis estimada de mayor porcentaje de proteína bruta (11,10%) para la urea es de 124 kg ha⁻¹ de N y para el sulfato de amonio es de 128 kg ha⁻¹ de N (10,88% de proteína bruta).

La fibra detergente neutra es mayor cuando se aplica N en forma de urea (58,18%) que en forma de sulfato de amonio (55,19%), sin embargo, no es afectada por la dosis de N.

La fibra detergente ácida presenta interacción entre los factores, esta se ajusta a una ecuación cuadrática en el cual se estima que llega al pico de FDA (31,74%) con 59 kg ha⁻¹ de N, luego disminuye con dosis crecientes de urea, sin embargo, no varía con la aplicación de sulfato de amonio.

Se puede usar ambas fuentes para aumentar la producción de maíz para ensilado.

Financiamiento: Fuente propia de los autores.

Conflicto de interés: Los autores declaran que no existe ningún tipo de conflicto de interés y autorizan la publicación del manuscrito.

Contribución de autores: RAUL PEÑA: Planificación del experimento y conducción del experimento, obtención de los datos, redacción del manuscrito. LUIS ALONZO: Ayuda en la Planificación del experimento, interpretación de los resultados y revisión del manuscrito. JIMMY RASCHE: Planificación del experimento, análisis e interpretación de datos, redacción del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araldi, F.D., Bigaton, J.M. (2020). Eficiência de diferentes fontes de nitrogênio na produção de milho silagem. (Tesis de grado Ingeniero Agrónomo) Instituto Federal De Santa Catarina Câmpus São Miguel do Oeste Agronomia. 28 p. Consultado 12 de abr. 2021. Disponible en: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2112>
- Broch, D.L., Ranno, S.K. (2008). Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura do milho. In: BROCH, D.L. (Coord.) Tecnologia de Produção: Soja Milho. 2008/2009. n.5. Maracaju: Fundação MS, 2008. p.133-141. Consultado 24 de feb. 2022. Disponible en: http://www.diadecampo.com.br/arquivos/materias/%7B17C51521-F6EA-4719-8077-58D86B9E07DB%7D_02_fertilidade_do_solo_adubacao_e_nutricao_do_milho_s_afrinha-1.pdf
- CAPECO (Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosos). (2022). Área de siembra, producción y rendimiento. Recuperado de <https://capeco.org.py/area-de-siembra-produccion-y-rendimiento/>
- Cubilla, M., Wendling, A., Eltz, F., Amado, T., Mielniczuk, J. (2012). Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz y girasol bajo el sistema de siembra directa

- en el Paraguay. CAPECO.p.14 (en línea). Consultado 12 de abr. 2021. Disponible en: http://capeco.org.py/wpcontent/uploads/2015/06/libro-final_recomendaciones-de-fertilizacion-paraguay_2012.pdf
- Gandara, L., Borrajo, C., Fernandez, J., Pereira, M. (2017). Efecto de la fertilización nitrogenada y la edad del rebrote sobre el valor nutritivo de *Brachiaria brizantha* cv. "Marandú". Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. 49(1):69-77. Consultado 20 feb. 2022. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/refca/v49n1/v49n1a06.pdf>
- García, J.P., Espinosa, J. (2009). Efecto del fraccionamiento de nitrógeno en la productividad y en la eficiencia agronómica de macronutrientes en maíz. Informaciones Agronómicas 72:1-5. Consultado 15 ene. 2022. Disponible en: [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b85257900057902e/40ad1eee26c802f005257a5300510c6d/\\$FILE/Fraccionamiento.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b85257900057902e/40ad1eee26c802f005257a5300510c6d/$FILE/Fraccionamiento.pdf)
- Glasesnapp de M, L.F., Ronsani, R., Pavinato, P.S., Biesek, R.R., Kruger da S., C.E., Martinello, C., Cappellesso, B., Floriano da S, M. (2013). Produção, valor nutricional e eficiências de recuperação e utilização do nitrogênio de silagens de milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada Semina: Ciências Agrárias, 34 (3): 1353-1361. Consultado 20 feb. 2022. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744121031.pdf>
- Goering, H.K., Van Soest, P.J. (1970). Forage fiber analysis: apparatus reagents, procedures and some applications. 1. ed. US Department of Agriculture: Editora Washington, DC., 379 p.
- Jadon, P., Selladurai, R., Yadav, S.S., Coumar, M.V., Dotaniya, M.L., Singh, A.K., Bhadouriya, J., Kundu, S. (2018). Volatilization and leaching losses of nitrogen from different coated urea fertilizers. Journal of soil science and plant nutrition, 18(4), 1036-1047. Consultado 15 ene. 2022. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005002903>
- Larios-González, R.C., García Centeno, L., Ríos, M.J., Avalos Espinoza, C del S., Castro Salazar, J.R. (2021). Pérdidas de nitrógeno por volatilización a partir de dos fuentes nitrogenadas y dos métodos de aplicación. Siembra, 8(2), e2475. Consultado 10 ene. 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i2.2475>.
- López, O., González, E., de Llamas, P.A., Molinas, A.S., Franco, E.S., García, S., Ríos, E. (1995). Mapa de reconocimiento de suelos, capacidad de uso de la tierra y propuesta de ordenamiento territorial preliminar de la Región Oriental del Paraguay. Asunción, Paraguay: SSERNMA/MAG/Banco Mundial. (Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra). 245 p. Consultado 10 nov. 2021. Disponible en: <https://www.geologiadelparaguay.com/Estudio-de-Reconocimiento-de-Suelos-Regi%C3%B3n-Oriental-Paraguay.pdf>
- Meinerz, G.R., Olivo, R.G.J., Viégas, J., Norberg, J.L., Agnolin, C.A., Scheibler, R.B., Horst, T., Fontaneli, R.S. (2011). Silagem de cereais de inverno submetidos ao manejo de duplo propósito. Revista Brasileira de Zootecnia. 40(10): 2097-2104. Consultado 17 de ago. 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011001000005>
- Meira, F. de A., Buzetti, S., Andreotti, M., Arf, O., Sá, M.E.de., Andrade da C., J.A. (2009). Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. Semina: Ciências Agrárias, 30(2):275-284. Consultado 21 de jun. 2021. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744092003.pdf>
- Melgar, R., Torres, M. (2016). Manejo de la fertilización en maíz. (en línea). Consultado 21 de jun. 2021 Disponible en <http://www.fertilizando.com/articulos/manejo%20de%20la%20fertilizacion%20en%20maiz.asp>
- Melo, W.M.C., Pinho, R.G.V., Pinho, E.V. de R.V., Carvalho, M.L.M., Fonseca, A.H. (1999). Parcelamento da adubação nitrogenada sobre o desempenho de cultivares de milho para produção de silagem. Ciências Agrotecnológica, 23(3): 608-616.
- Montejo-Martínez, D., Casanova-Lugo, F., García-Gómez, M., Oros-Ortega, I., Díaz-Echeverría, V., Morales-Maldonado, E. R. (2018). Respuesta foliar y radical del maíz a la fertilización biológica-química en un suelo Luvisol. Agronomía

- Mesoamericana, 29(2), 325-341. Consultado 17 de ago. 2021. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/437/43755165008/43755165008.pdf>
- Neumann, M., Horst, E.H., Martins de Souza, A., Venancio, B.J., Stadler Junior, E.S., Kloster Karpinski, R.A. (2019). Avaliação de doses crescentes de nitrogênio em cobertura em milho para silagem. Revista Agrarian. 12 (44): 156-164. Consultado 13 de nov. 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v12i44.7195>
- Novaes, L.P., Lopes, F.C.F., Carneiro, J.C. (2004). Silagens: oportunidades e pontos críticos. Comunicado técnico 43, Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, 10 p. Consultado 11 de nov. 2021. Disponible en: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/594945/1/COT_43Silagensoportunidadese.pdf
- Paredes, M. (2013). Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas. Buenos Aires, AR. 85p Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. (en línea). Consultado 21 de jun. 2021. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas.pdf>
- Pastén, M., González, V., Espínola, C. (2011). Clasificación climática del Paraguay utilizando los métodos de Köppen y Thornthwaite. San Lorenzo, Paraguay. 17 p. Consultado 10 ene. 2022. Disponible en: <http://sdi.cnc.una.py/catbib/documentos/525.pdf>
- Pull, R.W.; Rasche A., J.W. (2015). Manejo da adubação nitrogenada na cultura da canola. Revista de Agricultura Neotropical, 2(1): 41-52. Consultado 10 ene. 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.32404/rean.v2i1.251>
- Ranum, P., Peña-Rosas, J.P., Garcia-Casal, M.N. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. Annals of the New York Academy of Sciences 1312: 105-112. Consultado 15 ene. 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>
- Sangoi, L., Silva, P.R.F., Argenta, G., Rambo, L. (2010). Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos. Lages: Graphel, 84 p.
- Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H, Volkweiss, S.J. (1995). Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995; 174 p.
- USDA (2020). Informe de oferta y demanda de setiembre 2020. Disponible em <https://www.usda.gov/oce/commodity-markets/wasde/historical-wasde-report-data>
- Valadares V, R., Valadares V, S., Fernandes A, L., Sampaio A, R. (2014). Teores de nutrientes no solo e nutrição mineral do milho em áreas irrigadas com água calcária. Revista Caatinga, 27(3):169-176. Consultado 15 ene. 2022. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2371/237132104019.pdf>