

Efecto de la fertilización nitrogenada sobre cobertura de abonos verdes de invierno en maíz (*Zea mays L.*)
 Effect of nitrogen fertilization on winter green manure coverage in corn (*Zea mays L.*)

Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico

Laura Diana Tilleria¹ 

<https://orcid.org/0009-0000-1525-7149>

¹Universidad San Carlos, Filial Encarnación, Paraguay,
 lautilleria2822@gmail.com

Aldo Andrés Ortiz^{1,2} 

<https://orcid.org/0000-0002-2307-3101>

¹Universidad San Carlos, Filial Encarnación, Paraguay
²Universidad Nacional de Itapúa, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Encarnación, Paraguay, aldoaortiz.2009@hotmail.com

Resumen

El maíz es un cultivo tradicional del Paraguay, la fertilización con nitrógeno (N) es una de las prácticas de manejo que más limita el rendimiento. Con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilizante nitrogenado (urea) en la producción de maíz sobre coberturas de mezclas de abonos verdes de invierno, se instaló un experimento en el distrito de Encarnación con coordenadas geográficas latitud sur -27°19'50.02" y longitud oeste -55°52'0.01", el diseño experimental fue factorial, se consideró como factor A: dos sistemas de labranza (mezcla de abonos verdes de invierno y método convencional de manejo de suelo) y factor B: tres dosis de urea (0, 150 y 300 kg ha⁻¹). Se evaluaron las variables número total de granos por mazorca, peso de mil granos y rendimiento. El número total de granos por mazorca con un valor máximo de 380 granos por mazorca presentó diferencia altamente significativa para el efecto del manejo donde el valor fue de 214 granos/mazorca, mientras que la diferencia fue no significativa para los efectos de dosis de urea y la interacción. El peso de mil granos y rendimiento presentaron diferencias altamente significativas para los efectos individuales como en la interacción. El mayor rendimiento de grano fue de 3.903 kg ha⁻¹ con la combinación de 300 kg ha⁻¹ de urea sobre suelo con cobertura de abonos verde de invierno. El rendimiento de grano del maíz es relacionado por el número de granos por mazorca y el peso de granos, a su vez el sistema de manejo de suelo influye en la eficiencia de utilización de la urea como fertilizante en el maíz considerando que este es un cultivo parte de los sistemas agrícolas tanto para pequeños, medianos y grandes productores.

Palabras clave: Abonos verdes. Maíz. Nitrógeno. Manejo de suelo.

Abstract

Corn is a traditional crop in Paraguay, and nitrogen (N) fertilization is one of the management practices that limits yield the most. With the objective of evaluating the effect of different levels of nitrogen fertilizer (urea) on corn production on coverage of winter green manure mixtures, an experiment was installed in the district of Encarnación with geographical coordinates south latitude -27°19'50.02" and west longitude -55°52'0.01", the experimental design was factorial, factor A was considered: two tillage systems (mixture of winter cover crops and conventional soil management method) and factor B: three doses of urea (0, 150 and 300 kg ha⁻¹). The total number of grains per ear, weight of a thousand grains and yield were evaluated. The total number of grains per ear with a maximum value of 380 grains per ear presented a highly significant difference for the management effect, where the value was 214 grains/ear. In contrast, the difference was non-significant in terms of the effects of urea dose and the interaction. The weight of a thousand grains and yield presented highly significant differences for the individual effects and the interaction. The highest grain yield was 3.903 kg ha⁻¹ with 300 kg ha⁻¹ of urea on soil covered with winter green manures. The grain yield of corn is related to the number of grains per ear and the weight of grains; in turn, the soil management system influences the efficiency of urea use as fertilizer in corn, considering that it is part of the productive chain for both small, medium and large producers.

Keywords: Green manures. Corn. Nitrogen. Soil management.

Área del conocimiento: Ciencias Agrarias.

Correo de Correspondencia: aldoaortiz.2009@hotmail.com

Conflictos de Interés: Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

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

Fecha de recepción: 20/06/2023

Fecha de Aprobación: 05/09/2024

Página Web: <https://revistas.uni.edu.py/index.php/rseisa>

Citación recomendada: Tilleria, L.; Ortiz, A. (2024). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre cobertura de abonos verdes de invierno en maíz (*Zea mays L.*). Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico (Encarnación), 18(18): e2024016

Introducción

El maíz es una de las especies más tradicionales en el Paraguay, se utiliza para alimentación humana con las que se elaboran distintos platos tradicionales, así mismo se utiliza para alimentación animal y fines industriales (Alfonso et al., 2022).

En el Paraguay en el año 2002 se sembró un área total de 442.600 hectárea, ha aumentado a 1.096.472 hectárea en el año 2022, observándose un importante aumento en la cantidad de superficie cultivada (CAPECO 2022).

El conocimiento del funcionamiento del cultivo de maíz en interacción con el ambiente ayuda a entender las prácticas de manejo, por lo que constituye un factor de gran utilidad para alcanzar mayor productividad en cantidad y calidad y mayor sostenibilidad (Andrade et al., 2023).

La respuesta al uso de los fertilizantes es función del balance entre la demanda de nutrientes y la oferta de los mismos, el rendimiento del cultivo determina la demanda de un nutriente, dicha demanda de los nutrientes se construye durante todo el ciclo del cultivo y es producto de la captura de recursos (radiación solar, agua y nutrientes), que luego son transformados en biomasa y rendimiento (Salvagiotti, 2016).

El rendimiento del maíz es el producto del número de granos por el peso medio del grano o de otra forma es el resultado de multiplicar la biomasa total por el índice de cosecha, que es la fracción final de esa biomasa que termina particionada en los granos cosechables (Andrade et al., 2023).

Entre las principales funciones del Nitrógeno (N) se destaca el establecimiento y mantenimiento de la capacidad fotosintética, el desarrollo y crecimiento de los sumideros reproductivos (destino) (Below, 2002).

El N es el elemento mineral que puede ser responsable del aumento de la productividad y del contenido de proteína en los granos, ya que es un elemento muy dinámico en el suelo y por lo tanto está sujeto a grandes pérdidas principalmente en forma de gas por lo que es fundamental su manejo eficiente (Yamada y Stipp 2000).

Actualmente los abonos verdes son frecuentemente utilizados en agroecosistemas para mejorar y/o restaurar la fertilidad del suelo (Sosa et al., 2019). El uso de los abonos verdes en dos años en el maíz, mostró incrementos de los rendimientos del cultivo sobre el testigo entre 1 y 2,4 t ha⁻¹ y la variante con fertilización mineral entre 0,3 y 1,38 t ha⁻¹, variando

estos en relación con las especies de abonos verdes evaluadas (García et al., 2002).

El rendimiento alcanzado por el maíz es dependiente del aporte de biomasa y nutrientes por parte de los abonos verdes, el coeficiente de aprovechamiento del nitrógeno incorporado al cultivo varía de 25% a 89% observándose la mayor eficiencia en el uso del nitrógeno sobre la especie de abono verde mucuna (Álvarez et al., 1999).

De acuerdo a lo reportado por Sosa et al., (2019) en el sistema maíz-soja, la incorporación al suelo de materiales orgánicos de alta calidad como la mucuna (*M. pruriens* var. *utilis* - maíz) estimularon la mineralización y consecuentemente la dinámica del carbono y de las diferentes fracciones de N en el suelo, sin cambios significativos en el contenido de estos elementos en el tejido vegetal.

Actualidad, la agricultura es cada vez más dependiente de fertilización nitrogenada por la necesidad de producir más para satisfacer la gran demanda de alimentos en el mundo, en este sentido, la incorporación de abonos verdes puede ayudar a aumentar la bio-disponibilidad de nitrógeno, elemento fundamental para el desarrollo de las plantas (Cartagena et al., 2021).

La utilización de vicia (*Vicia villosa* L.) como abono verde y posible fuente de N permitió lograr un rendimiento del maíz en secano acorde a las características del año, esto se alcanzó, sin la aplicación de fertilizantes nitrogenados independientemente de cuál hubiera sido el sistema de labranza empleado y sin haber limitado el contenido de agua para el cultivo de maíz (Diez et al., 2012).

Este trabajo se planteó con la hipótesis que la inclusión de abonos verdes combinados con la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno permitirá aumentar los rendimientos. Como objetivo se propuso evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilizante nitrogenado (urea) en la producción de maíz sobre coberturas de mezclas de abonos verdes de invierno.

Materiales y Métodos

El experimento se llevó adelante en la localidad de Encarnación con coordenadas geográficas latitud sur - 27°19'50.02" y longitud oeste -55°52'0.01", el experimento fue entre abril del 2021 y enero del 2022. Los registros de la temperatura y precipitación durante la duración del experimento se muestran en la figura 1. Figura 1.



Precipitación y temperatura promedio mensual durante el experimento.

Nota. El gráfico muestra el comportamiento de la temperatura promedio por mes y la precipitación mensual registrada durante el experimento, en la accisa x se observa los meses correspondientes a la duración del experimento, en la accisa y (izquierdo) a la precipitación, y (derecho) temperatura.

Se observa que la temperatura osciló entre un valor mínimo de 15 a 30 °C en promedio para los meses de julio y enero respectivamente. Por otro lado, la precipitación durante el experimento correspondiente al cultivo de maíz fue con mayor valor en octubre donde la precipitación alcanzó 173 mm y en diciembre fue de 3 mm.

Los tratamientos consistieron en la utilización de tres coberturas invierno lupino (*Lupinus albus*), avena (*Avena sativa*) y nabo (*Brassica napus*) sembrados de manera asociada cultivados en abril y tres dosis de urea con una formulación de 46% de nitrógeno de la empresa Bunge (Paraguay), las dosis consistieron de 0, 150 y 300 kg ha⁻¹.

Fue sembrado el maíz en el mes de septiembre del 2021 posterior a la desecación y enrolado de los abonos verdes sobre las cuales fueron aplicados las tres dosis de urea aplicados en dos estados fenológico del maíz (50% de la dosis de cada tratamiento en V4 y el resto en V6, la misma cantidad de unidades experimentales se sembraron sobre un suelo sin cobertura en la misma parcela sobre las que también se aplicaron las mismas dosis de urea en los mismos momentos fenológicos del maíz.

Con lo expuesto en el párrafo anterior, el experimento se dispuso en un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial donde fueron consideradas como factor 1: sistemas de manejo de suelo con abono verdes (CAV) y sin abono verde de cobertura (SAV) y factor 2: fertilizante urea (0, 150, 300 kg ha⁻¹).

Cada unidad experimental contó con una longitud de 4 m de largo y 1,35 m de ancho, con una divisoria de 1,5 m entre unidades experimentales y entre los bloques,

la separación entre hilera fue de 0,45 m y 0,41 m entre plantas con lo que se totalizó una densidad de 54.200 plantas por hectárea

Las variables evaluadas fueron el número total de granos por mazorca, peso de 1.000 granos y el rendimiento de grano. Para la determinación del rendimiento fueron cosechadas la totalidad de las plantas de la hilera central de cada unidad experimental, la cosecha se realizó 135 días después de la emergencia de la planta del maíz.

Los datos colectados de las variables evaluadas fueron sometidos al análisis de varianza (ANAVA) para establecer las diferencias entre los tratamientos, y las variables cuyas diferencias resultaron significativas se sometieron a la comparación de promedios utilizando el test de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Resultados y Discusión

El número de granos por mazorca, peso de 1.000 granos y el rendimiento del maíz se presenta en la TABLA 1.

Tabla 1. Promedio de numero de granos por mazorca, peso de 1.000 granos y rendimiento de grano (kg ha⁻¹) de acuerdo a los distintos tratamientos, Encarnación 2022.

Sistema de manejo de suelo	Dosis de urea (kg ha ⁻¹)	Numero de granos por mazorca	Peso de 1.000 granos (g)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Con Abono Verde	0	303	180 b	1.614 c
	150	327	160 b	3.203 d
	300	380	235 c	3.903 e
Sin Abono Verde	0	214	125 a	790 a
	150	257	115 a	1.399 b
	300	247	115 a	1.532 c
ANOVA				
Fc Dosis de urea		3,6 ^{ns}	16,44**	1318,58**
Fc Suelo		33,22**	186,15**	4479,54**
Fc Interacción		1,2 ^{ns}	19,13**	329,09**

Nota. Fc: valor de F calculada en el ANAVA, **: diferencia altamente significativa en el análisis de varianza; medias seguidas de la misma letra son iguales entre sí (Tukey al 5%).

En el ANAVA las diferencias fueron no significativa para la variable número de granos por mazorca pudiendo inferirse que los tratamientos no afectaron a este parámetro de rendimiento.

Por otro lado, el peso de 1000 granos presentó diferencia altamente significativa para las dosis de urea, el manejo de suelo (CAV y SAV) y la interacción de estos, los promedios variaron entre 115 a 235 g alcanzados con los tratamientos SAV y 150 kg ha⁻¹ de urea y CAV con 300 kg ha⁻¹ de urea.

El maíz presentó rendimientos que variaron entre 770 a 3903 kg ha⁻¹, los mismos se obtuvieron con el sistema SAV y 0 kg ha de urea y sistema CAV con 300 kg ha⁻¹ de urea, estos tratamientos estadísticamente fueron distintos entre sí y de los demás tratamientos. Para el efecto de las dosis estadísticamente fueron distintos entre sí, misma tendencia se observa para el efecto del manejo de suelo respecto a la cobertura (CAV y SAV). La matriz de correlación total entre el rendimiento y sus principales componentes peso de 1.000 granos y numero de granos por mazorca se presenta en la tabla 2.

Tabla 2.

Matriz de correlación total del conjunto de variables evaluadas, efecto de suelo con y sin abono verde y tres dosis de urea. Encarnación, Paraguay. Campaña 2021-2022.

Correlación	N° de		
	grano/mazorca	Peso de 1.000	Rendimiento
N° total de grano/mazorca	1		
Peso de 1000	0,73	1	
Rendimiento	0,80	0,79	1

Nota. Los valores indican los coeficientes de correlación (R) entre las variables: número total de granos por espiga, peso de 1.000 granos y el rendimiento de grano.

La mayor correlación se observa entre el rendimiento de grano y el número de granos por mazorca, mientras que entre el peso de 1.000 granos y el número de granos por mazorca la correlación es menor.

Discusión

Considerando que el maíz es uno de los cultivo más tradicionales del Paraguay y que necesita de un sistema de producción que garantice la obtención de buenos rendimientos y que esto es dependiente de una correcta práctica del manejo de la fertilización con especial destaque en el nitrógeno, además considerar que un correcto manejo del suelo donde se incluya la siembra de abonos verdes parte de un sistema de rotación de cultivos puede ayudar a un mejor aprovechamiento de los nutrientes aplicados así como disminuir los efectos relacionados a estrés por parte de la planta que en este experimento fue afectado por déficit hídrico debido a la casi nula precipitación registrada en los meses de diciembre y enero.

Cuando el maíz es sembrado sobre cobertura con abono verde aumenta los rendimientos y la respuesta a la fertilización nitrogenada mejora, esto se infiere al observar aumento de rendimiento de hasta 3.113 kg ha⁻¹ entre el mayor rendimiento y el testigo o, aumento de

2.371 kg ha⁻¹ entre el mayor rendimiento obtenido con la mayor dosis de nitrógeno aplicado sobre abono verde y la misma dosis de nitrógeno, pero sin cobertura.

Respecto al número de granos por mazorca donde no se observó diferencia significativa se puede inferir que en este experimento esta variable no fue afectado por los tratamientos, autores como Andrade et al., (2023) mencionan que el rendimiento del maíz es el producto del número de granos por el peso medio del grano, lo mismo difiere al resultado obtenido en este trabajo. Así mismo, Below (2002) indica que el N tiene función para el establecimiento de los destinos reproductivo (número de granos), lo mismo no concuerda con el resultado de este trabajo. Considerando el otro componente de rendimiento (peso de 1.000 granos) se observó respuesta diferente respecto al número de granos por mazorca, con este resultado se puede expresar que se concuerda con los que mencionan Andrade et al., (2023) y Below (2002) quienes manifiestan que la aplicación de nitrógeno ayuda a aumentar principalmente los componentes de rendimiento (número y peso de granos).

El rendimiento fue influenciado tanto por las dosis de urea, sistema de manejo de suelo y la interacción entre estos, se observa que el rendimiento, cuando el suelo contiene materia orgánica proveniente de la cobertura de abonos verdes de invierno el maíz tiende a aumentar su rendimiento, así mismo cuando se aplicó urea sobre suelo con cobertura, el rendimiento aumentó de manera considerable que con la misma dosis en los sistemas CAV y SAV aumentó el rendimiento de 1.532 a 3.903 kg ha⁻¹ respectivamente con la dosis más alta de urea. En este sentido, cabe destacar que en los sistemas de producción del país no existe la valoración para la siembra de abonos verdes como parte de sistemas de rotación de cultivos. Asimismo, Sosa et al., (2019) mencionan que la materia orgánica en los suelos estimula la mineralización y mejora la dinámica del nitrógeno (urea), los mismos sustentan la tendencia observada en este trabajo respecto al rendimiento.

En términos económicos se observa que a pesar de que la fertilización nitrogenada conlleva a un aumento de los costos de producción del maíz, esto se compensa con la respuesta en el rendimiento donde la mayor dosis aplicada mostró margen de ganancia positiva cuando el nitrógeno se aplica sobre cobertura de abono verde, mientras que suelos sin cobertura por más que

se aplique nitrógeno, no permite tener margen positivo en termino económico.

Diez et al., (2012) mencionan que la utilización de abonos verdes permite lograr mayor rendimiento del maíz cuando se aplica fertilización nitrogenada, lo mismo coincide con lo obtenido en este trabajo donde se obtuvo resultado similar a los mencionados autores. La importancia de la inclusión de abonos verdes como parte de un sistema de rotación de cultivos combinado con la fertilización nitrogenada considerado el elemento mineral más limitante, es un aspecto clave para una producción más sustentable con más beneficios para los productores, aunque el desafío sea generar conciencia en técnicos y productores para aplicar estas estrategias. En término de trabajos futuros, queda realizar experimentos con la inclusión de otros factores como ser la época de siembra, aplicación de otros elementos minerales o la evaluación de distintos cultivares con lo que se generará mayor información.

Conclusión

La práctica de manejo de suelo (CAV) tiene influencia respecto al aprovechamiento de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz, el rendimiento del maíz se maximiza cuando se aplicó la mayor dosis de nitrógeno (300 kg ha⁻¹).

Existe alta correlación entre el rendimiento y sus componentes número de granos por mazorca y peso de 1.000 granos observándose valores entre 73 a 80% de correlación entre los mismos

Bibliografía

- Andrade, F.H.A, Cirilo, A., Uhart, S. y Otegui, M. (2023). Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz. http://www.maizar.org.ar/documentos/cultivo%20de%20maiz_version%20digital.pdf
- Alfonso, A. A. O., Aquino, M. E. M., & Brítez, N. R. F. (2022). Defoliación del maíz (*Zea mays* L.) en floración ¿cómo afecta al rendimiento?. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(1), 1054-1061.
- Alvarez, M., García, M., y Treto, E. (1999). 'Eficiencia del nitrógeno incorporado con los abonos verdes en el cultivo del maíz (*Zea mays*). *Cultivos Tropicales*, 20(3), 49-53.
- Below, FE. 2002. Fisiología nutrición y fertilización nitrogenada del maíz. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/D757CEE6B1516328852579A30074B16B/\\$FILE/Fisiologia,%20nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20nitrogenada%20del%20ma%C3%ADz.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/D757CEE6B1516328852579A30074B16B/$FILE/Fisiologia,%20nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20nitrogenada%20del%20ma%C3%ADz.pdf).
- Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO). 2018. Área de Siembra, Producción y Rendimiento. <http://capeco.org.py/area-de-siembra-produccion-y-rendimiento/>.
- Cartagena, Y. E., Parra, R. A., Alvarado, S. P., Valverde, F. M., & Zambrano, J. L. (2021). Eficiencia del uso de abonos verdes y urea en el cultivo de maíz de valles altos. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, (1).
- Diez, S. N., Domínguez, G. F., & Studdert, G. A. (2012, April). Uso de una leguminosa como alternativa de provisión de nitrógeno para un cultivo de maíz (*Zea mays*). In XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo: Latinoamérica unida protegiendo sus suelos. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina: Ciencia del Suelo (pp. 1-5).
- García, M., Álvarez, M., y Treto, E. (2002). Estudio comparativo de diferentes especies de abonos verdes y su influencia en el cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*, 23(3), 19-30.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2022. Producción y rendimiento de maíz en mundo. <https://www.fao.org/faostat/es/#compare>
- Salvagiotti, F. 2016. El rol de los fertilizantes en el aumento de la producción agropecuaria. https://www.researchgate.net/profile/Fernando_Salvagiotti/publication/325893165_El_rol_de_los_fertilizantes_en_el_aumento_de_la_produccion_agropecuaria/links/5b2b058caca27209f37972a8/El-rol-de-los-fertilizantes-en-el-aumento-de-la-produccion-agropecuaria.pdf.
- Sosa-Rodrigues, B. A., Sánchez-de-Prager, M., García-Vivas, Y. S., Espinoza-Guardiola, M. D., Rodríguez, J. A., & Sosa-Rodríguez, G. M. (2019). Dinámica de nitrógeno del suelo en agroecosistemas bajo el efecto de abonos verdes. *Acta Agronómica*, 68(4), 257-264.

Tilleria, L.; Ortiz, A. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre cobertura de abonos verdes de invierno en maíz (*Zea mays* L.).

Yamada, T; SR, Stipp. 2000. Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho?. Informações agronômicas N° 91. POTAFOS. [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/5C3D0036819B5ACA83257AA300696601/\\$FILE/Page1-5-91.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/5C3D0036819B5ACA83257AA300696601/$FILE/Page1-5-91.pdf).