

UNIVERSIDAD DE LA EMPRESA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

EVALUACIÓN DE EFECTOS DIRECTOS Y
RESIDUALES DE LA UTILIZACIÓN DE CAMA DE
POLLO (SIN COMPOSTAR), ESTIÉRCOL DE GALLINA
(SIN COMPOSTAR Y PARCIALMENTE COMPOSTADO)
Y UREA EN UNA SECUENCIA TRIGO-SORGO.

Tesista:

Valentina Rodríguez Barreto

*TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.*

**Montevideo
2021**

EVALUACIÓN DE EFECTOS DIRECTOS Y
RESIDUALES DE LA UTILIZACIÓN DE CAMA DE
POLLO (SIN COMPOSTAR), ESTIÉRCOL DE GALLINA
(SIN COMPOSTAR Y PARCIALMENTE COMPOSTADO)
Y UREA EN UNA SECUENCIA TRIGO-SORGO.

Tutores:

Armando Rabuffetti (†)

Carlos Beloqui

Tesista:

Valentina Rodríguez Barreto

Montevideo

2021

Hoja de aprobación

Título de la Tesis:

"EVALUACIÓN DE EFECTOS DIRECTOS Y RESIDUALES DE LA UTILIZACIÓN DE CAMA DE POLLO (SIN COMPOSTAR), ESTIÉRCOL DE GALLINA (SIN COMPOSTAR Y PARCIALMENTE COMPOSTADO) Y UREA EN UNA SECUENCIA TRIGO-SORGO"

Tesis aprobada por:

Ing. Agr. (Dr) Roberto Docampo
Pte. Tribunal (Ex INIA)



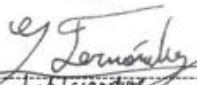
Firma

Ing. Agr. Carlos Beloqui
(FCA) Tutor



Firma

Ing. Agr. Germán Fernández
(FCA)



Firma

Lic. Bioq. (MSc.) Gimena Arrarte
(UdelaR)



Firma

Fecha: 03.05.2021

Calificación: 8 (ocho)

Autores:

Rodríguez Barreto, Valentina Soledad

Firma

TABLA DE CONTENIDOS

HOJA DE APROBACION.....I

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....II

1.	<u>RESUMEN</u>	1
2.	<u>SUMMARY</u>	3
3.	<u>INTRODUCCIÓN</u>	5
	3.1. <u>ESTIÉRCOL DE AVE (CAMA DE POLLO Y ESTIÉRCOL DE GALLINA)</u>	8
	3.2. <u>COMPOSTAJE</u>	10
	3.3. <u>UREA</u>	12
4.	<u>OBJETIVOS:</u>	14
	4.1. <u>OBJETIVO GENERAL</u>	14
	4.2. <u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u>	14
5.	<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	16
	5.1. <u>CAMPO EXPERIMENTAL</u>	16
	5.2. <u>TRATAMIENTOS</u>	16
	5.3. <u>DISEÑO EXPERIMENTAL Y VARIABLES</u>	16
	5.4. <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	17
	5.5. <u>MANEJO DEL CULTIVO</u>	17
	5.6. <u>CULTIVO DE TRIGO</u>	20
	5.7. <u>CULTIVO DE SORGO</u>	21
6.	<u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	22
	6.1. <u>RESULTADOS EN TRIGO</u>	22
	6.1.1. <u>Extracción de nitrógeno</u>	24

<u>6.1.2.Extracción de fósforo</u>	25
<u>6.1.3.Extracción de potasio</u>	26
<u>6.1.4.Contenido de NPK expresado en Mg MS producida y su relación</u>	27
<u>6.2.RESULTADOS EN CULTIVO DE SORGO:</u>	28
<u>6.2.1 Contenido de nitrógeno en planta de sorgo</u>	33
<u>6.2.2 Contenido de fósforo en planta de sorgo</u>	36
<u>6.2.3 Contenido de potasio en planta de sorgo</u>	37
<u>6.2.4 Comparación de los tratamientos referido al contenido de fósforo y potasio en planta</u>	39
<u>6.2.5 Contenido de N P K y su relación en el cultivo de sorgo</u>	40
<u>6.3.EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LOS NIVELES DE ALGUNOS NUTRIENTES EN EL SUELO LUEGO DE LA COSECHA DE SORGO</u>	42
<u>7. CONCLUSIONES</u>	49
<u>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	51
<u>9. ANEXO</u>	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rendimiento del trigo expresado en Kg ha ⁻¹	23
Figura 2: Tendencia del rendimiento del trigo expresado en Ton de ms ha ⁻¹ y contenido de N, P y K expresado en porcentaje.	28
Figura 3: Rendimiento de sorgo de los tratamientos fertilizados según su dosis y su origen	30
Figura 4: comparación de rendimientos expresado en kg ms ha ⁻¹ con fertilizantes de origen orgánico (CP, EG, EGPC, CPr, EGr, EGPCr) y origen mineral (N50, N100, N150, N50r, N100r, N150r) DMS=1555,35	31
Figura 5: Comparación entre rendimiento del sorgo en kgMS. ha ⁻¹ de los tratamientos fertilizados con N mineral, los no refertilizados y el testigo.	31
Figura 6. Comparación entre rendimiento del sorgo en Ton MS. ha ⁻¹ de los tratamientos de origen orgánico residual (CP, EG, EGPC) y origen orgánico refertilizados (CPr, EGr, EGPCr) y el testigo.	32
Figura 7: Comparación entre contenido de N en planta de sorgo expresado en Kg de N ha ⁻¹ en tratamientos con fertilizante de origen orgánico (CP, EG, EGPC) residuales, origen orgánico refertilizado (CPr, EGr, EGPCr), mineral (N50, N100, N150) residuales y mineral refertilizado (N50r, N100r, N150r)	34
Figura 8: Contenido de Kg de N min residual (N50, N100, N150) vs N min refertilizado (N50r, N100r, N150r).....	35
Figura 9: Comparación entre tratamientos fertilizados de origen orgánico con los tratamientos fertilizados de origen mineral refertilizados y el testigo.....	36
Figura 10: contenido de P en los tratamientos según su origen y su manejo.	39
Figura 11: contenido de K en los tratamientos según su origen y su manejo.	40
Figura 12: Tendencia del rendimiento expresado en toneladas y contenido de N, P y K expresado en porcentaje en los grupos de tratamientos de origen	

mineral (N50, N100,N150), origen orgánico(CP,EG,EGPC), origen mineral refertilizado (N50r, N100r,N150r) y origen orgánico refertilizados (CPr, EGr, EGPCr).	42
Figura 13: Contenido de fósforo luego de los cultivos agrupados según su origen.....	46
Figura 14: Contenido de potasio luego de los cultivos agrupados según su origen.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos del experimento.....	15
Tabla 2. Contenido de NO ₃ en las parcelas testigo a profundidades de 0-20 y 20-40cm.....	16
Tabla 3. Análisis de suelo antes de incorporar los tratamientos.	16
Tabla 4. Análisis de Cama de pollo (CP), estiércol de gallina (EG) y Estiércol de gallina parcialmente compostado (EGPC)	17
Tabla 5: Dosis de cada tratamiento de origen orgánico a partir del N total y % de materia seca.	17
Tabla 6: Rendimiento del trigo en Kg de MS ha ⁻¹ por tratamiento.....	22
Tabla 7: Contenido de nitrógeno en trigo expresado en Kg ha ⁻¹	24
Tabla 8: Contenido de fósforo en trigo expresado en Kg de P ha ⁻¹ según tratamiento.....	25
Tabla 9: Contenido de potasio en trigo según tratamiento expresado en Kg ha ⁻¹	26
Tabla 10: Contenido de N, P y K en planta (Kg Ton ms ha ⁻¹) y su relación. 27	
Tabla 11: Rendimiento de sorgo según tratamientos y bloques en Kg ha ⁻¹ . 29	
Tabla 12: Contenido de nitrógeno en sorgo expresado en kg ha ⁻¹ según tratamiento y bloque (B1, B2, B3).....	33
Tabla 13: Contenido de fósforo en sorgo expresado en Kg.ha ⁻¹ según tratamiento.....	37
Tabla14: Contenido de potasio en sorgo expresado en Kg ha ⁻¹	38
Tabla 15: Contenido de N, P y K expresado en Kg. ton de ms ⁻¹ y la relación de NPK	41
Tabla 16: Contenido de NO ₃ ⁻ en el suelo luego de la cosecha de sorgo.....	43
Tabla 17: Contenido de P (ppm) en suelo luego de cosecha del sorgo.	44

Tabla 18: Contenido de K (cmol. Kg) en suelo luego de cosecha del sorgo. 45

Tabla 19. Promedio del contenido de NO_3^- , P y K antes y al final de los cultivos.

..... 48

EVALUACIÓN DE EFECTOS DIRECTOS Y RESIDUALES DE LA UTILIZACIÓN DE CAMA DE POLLO (SIN COMPOSTAR), ESTIÉRCOL DE GALLINA (SIN COMPOSTAR Y PARCIALMENTE COMPOSTADO) Y UREA EN UNA SECUENCIA TRIGO-SORGO.

1. RESUMEN

En el Uruguay, la cama de pollo y el estiércol de ave se utilizan principalmente como enmienda orgánica, la cual se agrega al suelo para aportar nutrientes y mejorar sus propiedades físicas y químicas, principalmente en los rubros frutícolas y hortícolas. Si bien son conocidos los beneficios como enmienda orgánica, el exceso de nutrientes que deja residualmente puede generar un efecto negativo de contaminación potencial, provocando eutrofización de aguas superficiales por acumulación de nitrógeno, fósforo y por escurrimiento a las fuentes de agua y/o por la erosión de los suelos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos directos y residuales de la utilización de cama de pollo, estiércol de gallina, estiércol de gallina parcialmente compostado y diferentes dosis de urea en una secuencia de cultivo trigo-sorgo. El estudio se realizó en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de la Empresa, donde se implementó un diseño de bloques completamente aleatorizados con 7 tratamientos (constituidos por los fertilizantes antes mencionados en distintas dosis) y tres repeticiones. En las mismas se determinaron los rendimientos y la cantidad de macronutrientes primarios (N, P y K) para cada cultivo. Para el trigo se utilizó toda el área de la parcela para evaluar los tratamientos, en cambio en el cultivo de sorgo se dividieron las parcelas en dos partes, en una parte no se aplicó ningún tratamiento (para determinar la residualidad de los distintos fertilizantes), y en la otra mitad se aplicaron nuevamente los 7 tratamientos antes mencionados (para evaluar acumulación de nutrientes). El rendimiento de trigo tuvo un promedio general de 4649,4 kg ha⁻¹, con un máximo de 5530,2 kg ha⁻¹ y un mínimo de 2777 Kg

ha⁻¹. La enmienda orgánica no presentó diferencia significativa en cuanto a rendimiento y contenido de nitrógeno con respecto a los tratamientos de origen mineral. En el cultivo de sorgo los rendimientos oscilaron entre 1810 a 11090 Kg ha⁻¹ y la enmienda orgánica presentó una mayor respuesta en el rendimiento y cierta residualidad con respecto a los tratamientos de origen mineral (se constató que la urea no tiene residualidad); en cuanto al contenido de macronutrientes, se constató que los tratamientos con mayor concentración en la planta son los tratamientos de origen orgánico refertilizados, tanto de nitrógeno y fósforo como de potasio. En la poscosecha del sorgo se pudo observar en el suelo un mayor contenido de fósforo y potasio que antes del experimento, (2,29 más contenido de P y 2,38 más de K con respecto al testigo antes de los tratamientos), mientras que el NO₃ disminuyó debido su movilidad

Palabras clave: cama de pollo, estiércol de gallina, compost, residualidad de los materiales fertilizantes.

EVALUATION OF DIRECT AND RESIDUAL EFFECTS OF THE USE OF CHICKEN LITTER (UNCOMPOSTED), POULTRY MANURE (UNCOMPOSTED AND PARTIALLY COMPOSTED) AND UREA IN A WHEAT-SORGHUM SEQUENCE.

2. SUMMARY

In our country, chicken litter and poultry manure are used mainly as organic amendment, which is added to the soil to provide nutrients and improve its physical and chemical properties, mainly in fruit and vegetable crops. Even though the benefits as an organic amendment are known, its residual value of nutrients in soils may imply negative effects due to its pollution potential, causing eutrophication of surface water, accumulation of nitrogen and phosphorus through runoff to water sources and/or by soil run off. The objective of the present research was to evaluate the direct and residual effects of chicken litter, poultry manure, partially composted poultry manure and different doses of urea in a wheat-sorghum crop sequence. The study was carried out in the experimental field of the Faculty of Agricultural Sciences of the Universidad de la Empresa, where a completely randomized block design was implemented with 7 treatments (consisting of the mentioned fertilizers in different doses) and three repetitions. With this, the output and quantity of the macronutrients (N, P, and K) were determined in each crop. When it comes to wheat a whole smallholding area was used to evaluate the treatments, whereas in the sorghum crop the smallholdings were divided in two halves. In one of them there was not any treatment applied (to determine the residual effects of the fertilizers). On the other half the 7 treatments before mentioned

were applied (to evaluate the accumulation of the nutrients). Wheat yield average was 4649.4kg ha⁻¹, with a maximum of 5530.2kg ha⁻¹ and a minimum of 2777kg ha⁻¹, the organic amendment did not present any significant difference in relation to the output and content of the nitrogen in the treatments which had a mineral origin. The sorghum crop ranged from 1810-11099 kg ha⁻¹ and the organic amendment showed a better response to the production and a certain residual related to the one with a mineral origin. (It was established that the urea does not have any residual.) While the one which had macronutrients content, it was established that the treatments with greater concentration on the plant are the treatments with an organic origin which was fertilized with nitrogen, phosphorus and potassium. After the harvest, it was observed in the soil a major content of phosphorus and potassium, (229 more content of P, 2.38 more of K in relation to the treatment), while NO₃ was diminished due to its mobility in the soil.

Keywords: chicken litter, chicken manure, compost, residuality of fertilizer materials

3. INTRODUCCIÓN

La producción avícola ha experimentado un significativo aumento en Uruguay en los últimos 30 años. En la actualidad se estima que la producción de pollos parrilleros y ponedoras en jaula, genera anualmente un volumen de estiércol de aproximadamente 91.500 toneladas de materia seca lo que, en términos de N, P, y K, equivale a 7.500 toneladas de urea, 14.000 toneladas de superfosfato de calcio y 3.800 toneladas de cloruro de potasio (Rabuffetti, 2010).

La industria avícola se concentra principalmente en los departamentos de Canelones y Montevideo, donde se generan grandes cantidades de residuos de estiércol de gallina y cama de pollo, los que habitualmente se destinan a enmiendas orgánicas principalmente en cultivos hortifrutícolas (Moltini y Silva, 1981).

Los abonos orgánicos constituyen una forma de reciclaje de nutrientes en el sistema agropecuario; estos incluyen todo material de origen orgánico utilizado para fertilizar los cultivos o como mejorador de suelos (Soto y Meléndez, 2004).

La aplicación de cama de pollo y estiércol de gallina en el suelo es beneficiosa para las propiedades físicas del suelo, ya que mejora la porosidad, la infiltración y el aumento de la resistencia a la erosión, siendo beneficioso además para las propiedades químicas vinculadas con la productividad de los cultivos (Docampo et al, 2011).

En la mayoría de los sistemas de producción agropecuaria del Uruguay se detectan problemas de degradación de los recursos naturales. Los suelos sometidos a sistemas de agricultura continua pierden su capacidad productiva, principalmente por la reducción de su contenido de materia orgánica (MO), a razón de un 1 a 4 % anual (García de Souza et al, 2011).

En sistemas agrícolas después de 28 años de agricultura continua, se han estimado pérdidas del 23 % de MO respecto a su contenido inicial en el

suelo, atribuidas fundamentalmente a la erosión hídrica. En sistemas hortícolas, las pérdidas variaron entre 31 y 44 % para Bunosoles arcillosos y limosos, respectivamente, comparando zonas de suelo imperturbado y cultivado (García de Souza et al, 2011).

La aplicación de enmiendas orgánicas, además de aportar minerales y beneficiar las propiedades fisicoquímicas del suelo, aporta MO que es esencial para el mantenimiento de la salud del suelo, entendida como la capacidad de sostener la producción de fibras y alimentos en niveles de calidad y cantidad suficientes para satisfacer las demandas humanas y asegurar la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para el mantenimiento de la calidad de vida y la conservación de la biodiversidad (Watanabe et al, 2008).

Si bien son conocidos los beneficios de la enmienda orgánica, la permanencia en depósitos o aplicaciones excesivas y no concordantes en el tiempo con las necesidades de nutrientes de los cultivos, puede repercutir negativamente sobre el medio ambiente, contaminando aguas subterráneas, provocando eutrofización de aguas superficiales por acumulación de minerales, debido al escurrimiento hacia distintas fuentes de agua y/o por erosión de los suelos (Barbazán et al, 2011).

La eutrofización es un proceso que se da naturalmente por enriquecimiento de las aguas con nutrientes, principalmente por nitrógeno y fósforo, debido al arrastre de material por la acción de precipitación y erosión a un ritmo mayor que al de la mineralización total. El exceso de materia orgánica promueve el crecimiento de biomasa, como algas y plantas acuáticas y una disminución del oxígeno en las aguas profundas (IAGUA, 2011).

Barbazán et al (2011) destacan que sus efectos pueden interferir de modo importante con los distintos usos que el hombre puede hacer de los recursos acuáticos (abastecimiento de agua potable, riego, recreación, etc).

También se puede generar contaminación por nitratos de las aguas subterráneas (pozos, napas freáticas) debido a la aplicación en exceso de N suministrado por el estiércol o los fertilizantes nitrogenados en relación con las necesidades de los cultivos (Gale et al, 1986).

El excedente de los requerimientos de los cultivos es el que genera las mayores posibilidades de movimiento descendente de nitratos, particularmente en suelos de textura gruesa y cuando la magnitud de las precipitaciones excede a la evapotranspiración; junto con los NO_3^- el movimiento del agua en profundidad también transporta bacterias (coliformes totales y fecales) proveniente principalmente de fertilizantes orgánicos como estiércol (Watanabe et al, 2008).

El aumento de zonas de concentración de la producción avícola, genera la acumulación de grandes volúmenes de estiércol que deben ser eliminados para evitar efectos contaminantes en aguas y aire. Su incorporación en el suelo como fertilizante o enmienda, ha pasado a ser una estrategia frecuente. Dada la necesidad de fertilizar y de reutilizar estos materiales se decidió realizar el estudio de estos materiales en estado fresco y con algún proceso de compostaje para evaluar su comportamiento en el rendimiento del cultivo como fuente de nutrientes y residualidad en el suelo y comparar con tratamientos fertilizados con nitrógeno mineral a base de urea (Rabuffetti, 2017).

3.1. ESTIÉRCOL DE AVE (CAMA DE POLLO Y ESTIÉRCOL DE GALLINA)

Se denomina cama de pollo (CP), al material con el que se cubre el piso de los galpones donde se crían pollos parrilleros con la finalidad de absorber sus excretas, de modo tal que se evita la formación de zonas húmedas que les puedan causar enfermedades. Está compuesta principalmente por cáscara de arroz, deyecciones de ave, plumas y pequeñas cantidades de alimento balanceado. Su composición química es variable, ya que depende de varios factores como ser la dieta alimenticia, cantidad de crianzas, etc.; pero su utilización puede tener efectos sobre las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo además de aportar importante cantidad de nutrientes (Francia, 2014).

El estiércol de gallina (EG) es una mezcla de minerales orgánicos y minerales, que se utiliza como fertilizante ya que es rica en nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, sodio, etc. Esto se debe a que las gallinas digieren solo entre el 30 y 40 % de los nutrientes que adquieren de los alimentos, incluso es más rico que el estiércol de vaca ya que en las heces de las gallinas se encuentran entre el 60 y 70 % de minerales no digeridos por el animal (Tortosa, 2013).

Para que los cultivos asimilen los nutrientes es necesario incorporar el estiércol al suelo inmediatamente, ya que el N que se encuentra en altas concentraciones está en forma lábil, es decir como urea y ácido úrico por lo que es propenso a sufrir pérdidas por lixiviación y por escurrimiento. Este nitrógeno, aunque potencialmente es un excelente fertilizante, es mejor si se aplica en seco o deshidratado ya que puede ser un verdadero problema si dicha aplicación se hace directamente o sin estar bien estabilizado, ya que a valores ligeramente básicos (pH 7-8) se convierte en amoníaco, gas causante del fuerte olor del estiércol (Griffin y Honeycutt, 2000).

Además del nitrógeno, otros minerales que se encuentran en alta concentración son el carbono, el fósforo y el potasio. El carbono es de gran importancia en la planta para el aprovechamiento del oxígeno y para los procesos vitales de las células; el fósforo es vital para el metabolismo, y el potasio participa en el equilibrio y absorción del agua y la función osmótica de la célula (Wortmann et al, 2005).

Cuando se aplica el estiércol de ave para satisfacer las necesidades en N de los cultivos, no se toma en cuenta la cantidad de P que es agregada, excediendo largamente el P que necesita el cultivo. Este exceso es removido por los procesos de escurrimiento y erosión de las fuentes de agua donde se disuelve convirtiéndose en “P asimilable” por las algas y eutrofizando el agua. Esta es la forma química principal que afecta la calidad del agua en el corto plazo, mientras que el P particulado o sedimentario, que es arrastrado por el agua de escurrimiento, es agente de contaminación en el mediano y largo plazo (Wortmann et al, 2005).

La zona del suelo que más contribuye al aporte de P para el escurrimiento es la parte más superficial, por lo que en sistemas agrícolas de siembra directa o pasturas fertilizados con este nutriente en cobertura, es donde se presentan los mayores riesgos de contaminación. La incorporación del estiércol por laboreo reduce significativamente ese riesgo, aunque puede aumentar el riesgo de erosión. También el período que media entre la aplicación del estiércol en superficie y la lluvia es importante ya que los riesgos son muy altos (Sharpley et al, 1995)

El no reciclado de nutrientes, conduce a la extracción de depósitos geológicos, los cuales tienen una duración de vida finita (Villalba et al, 2008). Con una extracción actual de roca fosfórica de aproximadamente 20 millones de mg de P por año, las reservas durarían aproximadamente 123 años. Uno de los principales desafíos para el uso de la cama de pollo como fertilizante, es determinar la dosis correcta de aplicación, teniendo en cuenta los requerimientos de nutrientes para un cultivo o forraje dado (Cabrera, 2015).

Cuando se estima la dosis de aplicación para cubrir los requisitos de N, es necesario tener en cuenta que el N en estos subproductos está presente en forma inorgánica y orgánica. El N inorgánico en la cama de pollo, varía entre el 3 % y el 55 % del N total (Cabrera y Gordillo, 1995), con un valor promedio de alrededor del 10 %. Esta variación depende de las características del suelo observándose una mayor mineralización de N en suelos arenosos (Cabrera, 2015).

Otras amenazas relacionadas con el uso de estos abonos es que tienen antibióticos que pueden contaminar las aguas superficiales o pueden ser absorbidos por los cultivos o forrajes utilizados para el consumo humano o animal. La presencia de estas sustancias en las aguas superficiales puede tener impactos negativos en la vida silvestre y las poblaciones humanas que beben el agua contaminada (Colborn et al, 1993).

Por lo tanto, cuando se aplica la cama de pollo a la superficie del suelo, existe el riesgo de contaminación del agua con antibióticos. La presencia de estos compuestos en las aguas superficiales puede causar efectos adversos sobre la biota nativa, y potencialmente aumentar la resistencia bacteriana a estas drogas (Cabrera, 2015).

3.2. COMPOSTAJE

El compostaje es un proceso natural mediante el cual los microorganismos utilizando H₂O y O₂ descomponen y estabilizan la materia orgánica. Durante el proceso aeróbico hay liberación de CO₂, se reduce la relación C/N, se produce concentración de materia orgánica más estable (rica en compuestos húmicos) y acumulación de material inerte (cenizas). Además del aporte de nutrientes incide la población microbiana del material tratado debido a la fase termófila que reduce su población y entre ellos los patógenos (Docampo, 2012).

Es una tecnología ecológica que permite la reutilización y biotransformación de materiales orgánicos; el compost en la etapa final del proceso adquiere su madurez obteniéndose un producto estable. Es un recurso orgánico capaz de proporcionar cantidades notables de nutrientes esenciales, principalmente nitrógeno, fósforo y potasio al suelo o a las plantas, además de mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, así como la estabilidad estructural, la regulación del balance hídrico y el incremento de la capacidad de intercambio catiónico mejorando la fertilidad. Favorece la aireación y oxigenación, promoviendo una mayor actividad radicular y facilitando la dinámica de microorganismos aerobios. De esta manera, constituyen una fuente de energía para que los microorganismos se multipliquen rápidamente (Kolmans y Vásquez, 1999).

La calidad del compost depende de la calidad del material original, (como grado de digestión, contenido original de nutrientes, entre otros), y del sistema de compostaje utilizado (Tognetti et al, 2005). Son numerosas las evidencias experimentales reportadas por distintas regiones que verifican el efecto positivo del estiércol animal y de la cama de pollo en la mejora de la calidad de los suelos. El aumento en el contenido de Carbono (ambientalmente expresado como "Secuestro de C") por agregado de estiércol, ha sido verificado en sistemas productivos que dejan pocos restos vegetales en el campo (producción de forraje con remoción total de biomasa, heno, silo, cultivos utilizados para la producción de energía, cultivos hortícolas). También se han comprobado efectos similares en suelos que por manejos esquilmantes han disminuido su productividad. El efecto de esta enmienda se da por un lado a través de la materia orgánica lábil en el suministro de nutrientes y en la estabilidad de los agregados y por otro por el aumento de la fracción estable de la materia orgánica que es la responsable del secuestro de C (Morón et al, 1999).

El compostaje parcial consiste principalmente en la primera fase del compostaje (fase termófila) donde los microorganismos disponen de

alimentos fácilmente disponibles y se produce una descomposición rápida con importante generación de calor. Esta etapa permite obtener un producto saneado como resultado de la reducción de microorganismos patógenos y desactivación de las semillas de malezas y plantas parásitos (Docampo, 2013).

3.3. UREA

La urea es un fertilizante de origen sintético, su fórmula es $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ y contiene 46 % de N. Cuando se incorpora al suelo sufre un proceso de hidrólisis, formando carbonato de amonio. Esta reacción es catalizada por la enzima ureasa, una enzima que abunda en el suelo. Esto se debe a que la urea es una molécula orgánica relativamente abundante, constituyendo la forma principal de excreción de N en la orina de los mamíferos; una parte de la actividad de la ureasa se localiza dentro de las fracciones humificadas de la materia orgánica del suelo (MOS) y se considera que los mismos mecanismos que explican la estabilidad del humus explicarían la estabilidad de la ureasa en el suelo. El producto de la reacción es una sal químicamente inestable que se descompone rápidamente en agua. El pH del medio básico favorecerá la pérdida en forma de gas; por el contrario, si el medio es ácido (pH bajo) lo más probable es que permanezca en el suelo (Fernández del Pozo, 1984).

Cuando se aplica este fertilizante en la superficie (lo que es común cuando se fertilizan cultivos o pasturas en crecimiento) es conveniente hacerlo en suelos secos previo a una lluvia. En estas condiciones atmosféricas, no sólo la evapotranspiración es baja, sino que, además, la lluvia va a incorporar a la urea dentro de los primeros centímetros del suelo. En caso de contar con equipos de riego sería recomendable la aplicación de cierta cantidad de agua para lograr dicho objetivo. Si el suelo está húmedo, sería preferible aplicarlo en condiciones de baja evapotranspiración, como por ejemplo en días nublados (Perdomo et al, s.f.).

Teniendo en cuenta estas normas básicas de manejo, normalmente la mayoría del N de la urea se transforma rápidamente en NH_4^+ , el cual es retenido por los coloides del suelo. A diferencia de los macronutrientes P y K, en el caso del N puede ser una buena estrategia aplicarlo en forma fraccionada. Debido a la movilidad del N en el suelo sería deseable aplicarlo en el momento de mayor demanda por parte del cultivo (Perdomo et al, s.f.).

La urea es el fertilizante de menor precio por unidad de nitrógeno aportado, posee alta solubilidad y no incrementa la salinidad del agua de riego. El proceso de incorporación dura más o menos una semana, involucra los microorganismos del suelo y está determinado por factores externos como la temperatura, disponibilidad de agua y profundidad del suelo. Los microorganismos al recibir la urea generan la enzima ureasa, lo que permite que se convierta en iones de amonio (NH_4^+) y bicarbonato. Estos iones son absorbidos por el suelo y se adhieren a las partículas del mismo, con carga negativa o nitrificada, y el nitrógeno queda disponible para la planta como amonio o nitrato. Sin embargo, las actividades agrícolas y las características de un determinado suelo pueden alterar el equilibrio de este ciclo; por ejemplo, en suelos ácidos, la transformación de los compuestos orgánicos que trae la urea después de pasar a su estado de amonio genera la liberación de los iones hidronios, lo que baja el pH y lo hace aún más ácido (García de Souza et al, 2011).

La urea tiene un precio más bajo que el resto de los fertilizantes en el mercado, lo que provoca un aumento en la demanda, empleándose anualmente en el mundo ciento cincuenta y cinco millones de toneladas. Así, este compuesto se ha consolidado como el fertilizante nitrogenado por excelencia. Sin embargo, si su utilización no es la correcta, la productividad del cultivo puede disminuir dramáticamente (García de Souza et al, 2011).

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos directos y residuales de la aplicación de cama de pollo, estiércol de gallina, estiércol de gallina parcialmente compostado y urea en una secuencia de cultivo trigo-sorgo.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar los efectos directos de la aplicación de cama de pollo, estiércol de gallina, estiércol de gallina parcialmente compostado y la urea en el rendimiento del cultivo de trigo.

Evaluar los efectos directos de la cama de pollo, estiércol de gallina, estiércol de gallina parcialmente compostado y la urea en el rendimiento del cultivo de sorgo.

Evaluar los efectos residuales de los tratamientos en el suelo luego de los dos cultivos.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. CAMPO EXPERIMENTAL

El experimento se realizó en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de la Empresa, en el departamento de Canelones (Ruta No. 62, km 55). El ensayo se instaló en un suelo Brunosol eútrico lúvico franco arcillo limoso con historia de varios años de agricultura. En los últimos 2 años se ocupó con una pradera mezcla de leguminosas y gramíneas.

5.2. TRATAMIENTOS

Los tratamientos se dividen entre los tratamientos de origen orgánico (cama de pollo, estiércol de gallina y estiércol de gallina parcialmente compostado) y los tratamientos de origen mineral provenientes de la urea (N50, N100 y N150). Las fuentes orgánicas se aplicaron en cantidades equivalentes a una dosis de 300 Kg de N ha⁻¹. La dosis de los estiércoles se estableció en base a la cantidad del nutriente a ser absorbida por los cultivos, asumiendo para el primer año de aplicación una disponibilidad de 50- 60 % del N total presente en un estiércol puro sin procesar (Rabuffetti et al, 2010).

La urea se evaluó en tres dosis: 50, 100 y 150 Kg de N ha⁻¹. A continuación se detallan los distintos tratamientos con sus respectivas dosis (tabla 1).

Tabla 1. Tratamientos del experimento.

Dosis de N total (Kg ha ⁻¹)	Fuente
0	Testigo
50	Urea
100	Urea
150	Urea
300	Cama de pollo
300	Estiércol de gallina fresco
300	Estiércol de gallina parcialmente compostado

De los tratamientos utilizados; la cama de pollo (CP) está compuesta por cáscara de arroz y las excretas de los pollos durante 2 crianzas, una de 60 días y otra de 45 días.

El estiércol de gallina proviene de una de las plantas de producción de huevos de un establecimiento avícola comercial, sobre un piso de cemento para evitar pérdida de nutrientes. Parte se utilizó para su aplicación en fresco (EG) y parte se utilizó para realizar un compostaje parcial (hasta la finalización de la fase termófila). Este compostaje se realizó en el predio de la Facultad, donde se removió 2 veces por semana a los efectos de que la etapa termófila se realizara en todo el material. Este procedimiento se dio por finalizado una vez que la temperatura se estabilizó por debajo de los 30 °C.

5.3. DISEÑO EXPERIMENTAL Y VARIABLES

El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con tres repeticiones y 7 tratamientos. (Cada parcela donde se aplica el tratamiento midió 4 por 12 m).

El rendimiento del cultivo se estimó a través de muestras de cortes de planta entera, cada muestra se pesó en fresco y se submuestreó para determinar materia seca, nitrógeno, fósforo y potasio.

El contenido de nitrógeno se determinó a través del método Kjeldahl; la materia orgánica se determinó a través del método Walkley-Black y el P y K se determinó mediante mufla eléctrica con pirómetro.

5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El modelo estadístico fue el siguiente:

Modelo: $y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$

y_{ij} : rendimiento de cultivo

μ : media general del ensayo

α_i : efecto de los bloques

β_j : efecto de los tratamientos

ϵ_{ij} : error

El análisis estadístico se realizó a través de análisis de varianza y contrastes ortogonales, utilizando el programa Infostat. Las medias se compararon con el test de Fisher con un p valor de 0,05.

5.5. MANEJO DEL CULTIVO

Antes de instalar las parcelas para el ensayo se sacaron muestras por bloque para determinar contenido de NO_3 , K, P en el suelo. En la tabla 2 y 3 se describen los resultados de dichas muestras.

Tabla 2. Contenido de NO₃ en las parcelas testigo a profundidades de 0-20 y 20-40cm.

	NO ₃ (ppm)	
	0-20 cm	20-40 cm
parcela 4	38	27
parcela 14	32	22
parcela 16	33	24

Tabla 3. Análisis de suelo antes de incorporar los tratamientos.

Muestras	pH		%	ppm	meq/100 g suelo			
	H ₂ O	KCl	M.O.	P	Ca	Mg	K	Na
Bloque 1 (B1)	5,6	4,5	3,7	28	8,6	3,6	0,27	0,65
Bloque 2 (B2)	5,7	4,6	3,5	25	9,9	4,0	0,34	0,69
Bloque 3 (B3)	5,7	4,6	3,8	32	10,5	4,5	0,36	0,68

Además, se tomaron muestras del material que se utilizó para los tratamientos de origen orgánico como son el estiércol de gallina (EG), cama de pollo (CP) y estiércol de gallina parcialmente compostado (EGPC). En la tabla 4 se detallan los resultados de cada material.

Tabla 4. Análisis de Cama de pollo (CP), estiércol de gallina (EG) y Estiércol de gallina parcialmente compostado (EGPC).

Parámetros	Unidad	RESULTADOS		
		CP	EG	EGPC
Nitrógeno Total	%	1,7	2,3	2,3
Nitrato	%	0,2	0,2	0,2
Nitrógeno amoniacal	%	0,2	0,2	0,2
Calcio	%	2,7	7,5	4,9
Fósforo	%	1,3	2,2	1,4
Magnesio	%	2,1	1,7	0,8
Potasio	%	1,2	3,1	1,8
Carbono total	%	29	35,9	45,7
Relacion C/N	%	17	16	20
conductividad	(uS/cm)	2008	2480	1500
Materia seca		75,9	34,2	61,3
pH (agua)		8,15	8,99	9,06

A partir de los resultados de las muestras del contenido de N total y porcentaje de materia seca (MS) se calculó la dosis que había que aplicar en los tratamientos orgánicos para llegar a una dosis de 300 Kg de N ha⁻¹ (equivalente a la máxima dosis de N en la urea), en la tabla 5 se detalla los resultados.

Tabla 5. Dosis de cada tratamiento de origen orgánico en Kg MS/parcela y Mg ha⁻¹ a partir del N total y % de materia seca.

Tratamiento.	Ntotal	%MS	Dosis de trat. (kg MS/parcela)	Mg ha ⁻¹
CP	1,7	75,9	112	23,3
EG	2,3	34,2	183	38
EGPC	2,3	61,3	102	21,3

CP=cama de pollo, EG=estiércol de gallina, EGPC= estiércol de gallina parcialmente compostado.

Tanto los tratamientos de origen orgánico como los de origen mineral se implementaron en un cultivo de trigo para el periodo otoño-invierno del 2015 y sorgo en primavera-verano de 2015-2016.

Para el trigo se utilizó toda el área de la parcela para evaluar los tratamientos, en cambio en el cultivo de sorgo se dividieron las parcelas en dos partes. En una parte no se aplicó ningún tratamiento (para medir la residualidad de los distintos fertilizantes), y en la otra mitad se aplicaron nuevamente los 7 tratamientos antes mencionados (para evaluar acumulación de nutrientes).

5.6. CULTIVO DE TRIGO.

Antes de la instalación del trigo, se preparó la tierra mediante laboreo vertical hasta obtener una adecuada cama de siembra, se laboreó mediante la pasada del cincel de Norte a Sur y de Este a Oeste con el fin de romper los terrones y favorecer la infiltración y la retención del agua. Posteriormente se realizó una pasada transversal con el vibro-cultivador con el objetivo de reducir el tamaño de los terrones, y finalmente se pasó una rastra de dientes para completar la preparación de la cama de siembra.

Los tratamientos de origen orgánico (cama de pollo, estiércol de gallina y estiércol de gallina parcialmente compostado) se aplicaron e incorporaron luego de la preparación del suelo, dos semanas antes de la siembra del trigo.

Los tratamientos de origen mineral (distintas dosis de urea) se aplicaron con la siembra, en forma manual, tratando de cubrir toda la parcela.

La siembra de trigo se realizó en línea, el 9 de julio, con la variedad Génesis 2366, a una densidad de 120 Kg ha⁻¹. La fecha de emergencia fue el 20 de julio y el inicio de macollaje se dio el 3 de setiembre del 2015, donde se refertilizaron las parcelas que debían tener 100 y 150 Kg ha⁻¹ de nitrógeno.

El área cosechada fue de 1,35 m de ancho por 8 m de largo (10,8 m²), se cortó la planta entera de trigo con motocultivador con un anexo de segadora; la muestra obtenida de cada parcela se pesó y se submuestreó

para realizar análisis en el laboratorio de materia seca, nitrógeno, fósforo y potasio.

La cosecha se realizó cuando el grano estuvo entre la etapa lechoso-pastoso, con un contenido de materia seca entre 30-35 % para obtener un buen ensilado.

5.7. CULTIVO DE SORGO

Para el cultivo de sorgo se pasó el vibrocultivador para eliminar el rastrojo del suelo.

Luego se dividieron las parcelas a la mitad y se aplicaron a las subparcelas correspondientes los tratamientos de origen orgánico. Una semana más tarde (14 de enero de 2016) se realizó la siembra de sorgo y la aplicación de los tratamientos restantes (origen mineral).

El sorgo que se sembró fue un híbrido DKA 64T Dekalb en una densidad de 12 kg ha⁻¹

Se determinó llevar a cabo la cosecha cuando el grano tuviera un 30 % de materia seca. Sin embargo, debido a problemas climáticos (vientos fuertes y lluvias copiosas) esta debió adelantarse, concretándose el 11 de mayo de 2016.

En dicha cosecha se pasó un motocultivador con segadora y se cortó la planta entera. Con la cosecha obtenida se submuestreó por parcela, se pesó y se llevó a una estufa a 60 °C durante 96 hs, de esta forma se eliminó el contenido de agua de la planta para determinar el rendimiento expresado en materia seca y el contenido de N, P y K. Luego de la cosecha se realizó muestreo del suelo con taladro manual para determinar los macronutrientes del mismo.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. RESULTADOS EN TRIGO.

El rendimiento de trigo tuvo un promedio general de 4649,4 kg de MS ha⁻¹, con un máximo de 5530,2 kg ha⁻¹ y un mínimo de 2777 kg ha⁻¹. En la tabla 6 se presentan los rendimientos obtenidos en cada uno de los tratamientos evaluados según bloque y el promedio total (el análisis de varianza se presenta en el anexo, tabla1).

Tabla 6. Rendimiento del trigo en Kg de MS ha⁻¹ por tratamiento.

Tratamiento	B1	B2	B3	Promedio	
TESTIGO	2573,8	2803,2	2953,9	2777	a
N150	4419,2	4522	4670,8	4537,3	b
CP	5116,5	4783	4650	4582,5	bc
N 50	5286	4468,7	5226,6	4993,8	bc
N 100	5516,4	4849	4761,9	5042,4	bc
EG	4094,7	5071,1	6082,1	5082,6	bc
EGPC	4921,8	5644,3	6024,5	5530,2	c

DMS Fisher = 898,9.

Las letras diferentes entre filas presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

Tratamientos de origen mineral= N50, N100, N150; Tratamientos de origen orgánico= CP: cama de pollo, EG: estiércol de gallina, EGPC: estiércol de gallina parcialmente compostado.

p-valor=0,0006

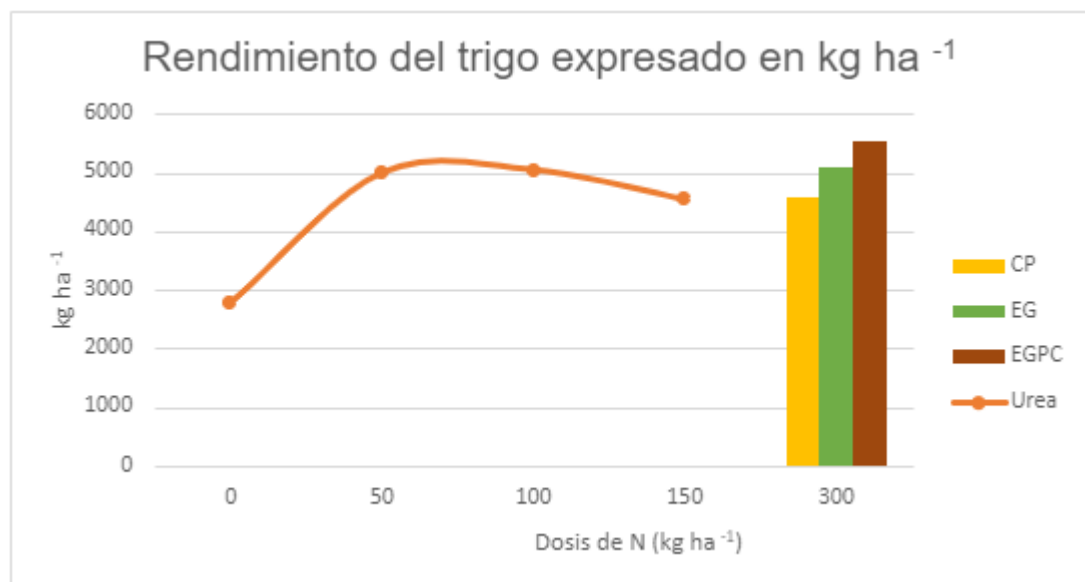
En la tabla se puede observar que el tratamiento que posee el mínimo rendimiento es el testigo. Entre la CP, N50, EG, N100 y N150 no se observan diferencias significativas entre sí.

El tratamiento que aportó el máximo rendimiento fue el EGPC (estiércol de gallina parcialmente compostado), diferenciándose ($p < 0,05$) solo del testigo y el N150. La disminución del rendimiento del tratamiento N150 podría explicarse por el contenido elevado de nitrógeno, y las condiciones de humedad y temperaturas altamente predisponentes para la proliferación de microorganismos generadores de enfermedades criptogámicas, que suele

provocar una mayor susceptibilidad a patógenos obligados o biotróficos. Los patógenos biotróficos se nutren de asimilados como son aminoácidos y azúcares; el exceso de nitrógeno reduce el contenido de azúcares reductores y la síntesis de proteína en la planta, además aumenta el contenido de carbohidratos y aminoácidos solubles en las hojas, promoviendo un medio para que prosperen hongos, bacterias e insectos (Intagri, 2016).

No se encontraron diferencias significativas entre bloques (p-valor= 0,39).

En la Figura 1 se grafica la respuesta de los rendimientos del trigo al agregado de los distintos tratamientos.



CP: cama de pollo; EG: estiércol de gallina; EGPC: estiércol de gallina parcialmente compostado, Nmin.: dosis de urea.

Figura 1. Rendimiento del trigo expresado en Kg ha⁻¹.

En esta curva de respuesta se observa un descenso del rendimiento a dosis altas de urea y una buena respuesta del cultivo a los tratamientos de origen orgánico.

6.1.1. Extracción de nitrógeno

En la tabla 7 se presenta el contenido de nitrógeno para cada uno de los tratamientos según los bloques evaluados y el promedio.

Tabla 7. Contenido de nitrógeno en trigo expresado en Kg ha⁻¹.

Tratamiento	B1	B2	B3	Promedio	
TESTIGO	28,8	23,8	33,4	28,7	a
N50	71,4	40,2	53,8	55,1	b
CP	77,3	49,8	52,5	59,9	bc
N100	67,8	62,1	56,7	62,2	bc
N150	73,8	64,2	61,7	66,6	bc
EGPC	59,6	84,7	63,9	69,4	bc
EG	67,6	83,2	77,2	76	c

DMS Fisher=19,5.

Las letras diferentes entre filas presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).
Tratamientos de origen mineral= N50, N100, N150; Tratamientos de origen orgánico= CP: cama de pollo, EG: estiércol de gallina, EGPC: estiércol de gallina parcialmente compostado.

Se observa que el testigo y la dosis mínima N mineral (N50) son los tratamientos que determinan el mínimo contenido de nitrógeno en planta. Sin embargo, N50 solo se diferencia del testigo y de EG. Los tratamientos CP, N50, N100, N150 y EGPC no tienen diferencias significativas entre sí.

Si bien el mayor contenido de N en planta se encuentra en el tratamiento con estiércol de gallina (EG), esto no se ve reflejado en el rendimiento de trigo, lo cual puede deberse a que el nitrógeno del estiércol está en forma de amonio con valores ligeramente básicos (pH 7-8) y se convierte en amoníaco, en cambio a medida que se composte se reduce el contenido de amoníaco y aumenta el contenido de nitrato y nitrito, siendo más disponible para las plantas, lo que podría llevar a un mejor rendimiento (Tortosa 2013).

Los bloques no presentaron diferencias significativas (p -valor=0,496).

6.1.2. Extracción de fósforo.

El contenido de fósforo en el trigo osciló entre 3,1 y 9,0 kg ha⁻¹ A continuación, se detallan los resultados (tabla 8)

Tabla 8. Contenido de fósforo en trigo expresado en Kg de P ha⁻¹ según tratamiento.

Tratamiento	B1	B2	B3	Promedio	
TESTIGO	3,1	3,1	3,5	3,2	a
N150	5,7	5,0	4,7	5,1	b
N50	5,3	4,9	5,7	5,3	b
N100	6,1	5,3	5,2	5,5	b
CP	7,7	6,4	6,0	6,7	bc
EG	5,7	8,6	7,3	7,2	cd
EGPC	8,4	9,0	8,4	8,6	d

DMS Fisher =1,61692

Las letras diferentes entre filas presentan diferencias significativas (p<0,05).

Tratamientos de origen mineral= N50, N100, N150; Tratamientos de origen orgánico= CP: cama de pollo, EG: estiércol de gallina, EGPC: estiércol de gallina parcialmente compostado.

Se observa que los tratamientos con menor contenido de fósforo en planta son el testigo y los provenientes de la fertilización solo con N mineral (fertilización con urea), diferenciándose de los tratamientos de origen orgánico: EG, EGCP.

Esto puede deberse a que los tratamientos de origen orgánico tienen aporte de cantidades variables de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, azufre y otros elementos nutricionales para las plantas. (Gonzalez y Pomares, 2008)

En cambio, la fertilización de origen mineral es urea, un fertilizante simple, de origen sintético donde su fórmula es CO(NH₂)₂ y contiene 46 % de N (Perdomo, s.f.).

Los bloques no presentaron diferencias significativas en el contenido de fósforo (p-valor=0,97)

6.1.3. Extracción de potasio.

El contenido de potasio en planta osciló entre 18,2 kg ha⁻¹ a 84,7 kg ha⁻¹, como se observa en la tabla 9.

Tabla 9. Contenido de potasio en trigo según tratamiento expresado en Kg ha⁻¹

Tratamiento	B1	B2	B3	Promedio	
Testigo	20,8	18,2	25,7	21,6	a
N100	43,0	39,8	41,0	41,2	b
N150	34,9	43,9	45,3	41,4	b
N50	54,4	33,1	38,7	42,1	b
EG	43,4	62,4	71,8	59,2	c
CP	73,7	60,9	64,6	66,4	c
EGPC	75,8	84,7	83,7	81,4	d

DMS Fisher =14,77725

Las letras diferentes entre filas presentan diferencias significativas (p<0,05).
 Tratamientos de origen mineral= N50, N100, N150; Tratamientos de origen orgánico= CP: cama de pollo, EG: estiércol de gallina, EGPC: estiércol de gallina parcialmente compostado.

Se observa que el tratamiento con mayor contenido de potasio es el estiércol de gallina parcialmente compostado (EGPC). Esto puede deberse a que, como el compostaje es una fuente rica en carbono y nitrógeno, aumentó la actividad microbiana y, en consecuencia, condujo a una mayor disponibilidad de nutrientes para la planta, como es el caso del fósforo y el potasio (Lincoff, 1981).

Entre bloques no se observaron diferencias significativas (p-valor= 0,63).

6.1.4. Contenido de NPK expresado en Mg MS producida y su relación

A continuación, se describe el contenido de N, P, K y la relación de los nutrientes (tabla 10).

Tabla 10. Contenido de N, P y K en planta (Mg MS ha⁻¹) y su relación.

Tratamientos	N	P	K	Relación NPK		
				N	P	K
testigo	10,3	1,2	7,8	1	0,12	0,8
N50	11	1,1	8,4	1	0,1	0,8
N100	12,3	1,1	8,2	1	0,09	0,7
N150	14,7	1,1	9,1	1	0,07	0,6
CP	13,1	1,5	14,5	1	0,11	1,1
EG	15	1,4	11,6	1	0,09	0,8
EGPC	12,5	1,6	14,7	1	0,13	1,2
<u>Requerimiento*</u>	9-15	1,5-2,5	5,7-9,5			

Las letras diferentes entre filas presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).
Tratamientos de origen mineral= N50, N100, N150; Tratamientos de origen orgánico= CP: cama de pollo, EG: estiércol de gallina, EGPC: estiércol de gallina parcialmente compostado.

*Fuente de requerimiento: Tomado de García 1999.

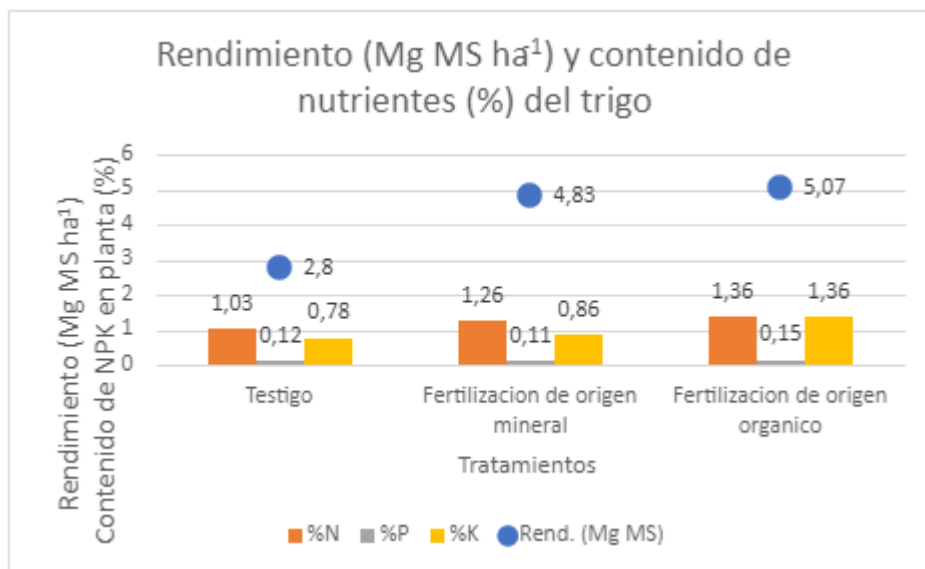
En esta tabla se observa que en los tratamientos de origen orgánico (CP, EG, EGPC) el cultivo presentó más potasio que el señalado por la bibliografía.

El tratamiento EGPC presenta mayor contenido de NPK y mayor relación de P y K por unidad de N. Coincidentemente es el tratamiento que presentó mayor rendimiento (5530,2 kg ha⁻¹).

El tratamiento que absorbió más N fue el EG, requirió más cantidad de nitrógeno para lograr un rendimiento igual o sin diferencias significativas con los demás tratamientos (CP, EG, N 50, N 100).

Por otro lado, el tratamiento N150 presenta el menor contenido de K y P por unidad de N, probablemente esta sería otra causa que explicaría la depresión del rendimiento analizada en la tabla 6.

En la Figura 2 se compara el contenido de los macronutrientes que posee el trigo con el rendimiento (Figura 4):



Tratamientos de origen mineral= N50, N100, N150; Tratamientos de origen orgánico= CP: cama de pollo, EG: estiércol de gallina, EGPC: estiércol de gallina parcialmente compostado.

Figura 2. Tendencia del rendimiento del trigo expresado en Mg MS ha⁻¹ y contenido de N, P y K expresado en porcentaje.

Se puede observar que los tratamientos de origen orgánico tienen mayor rendimiento y mayor contenido de nutrientes (N, P, K).

El testigo fue el que tuvo menor rendimiento y contenido de nutrientes.

Los datos se encuentran en el anexo tabla 2.

6.2. RESULTADOS EN CULTIVO DE SORGO:

En el cultivo de sorgo los rendimientos oscilaron entre 1810 Kg ha⁻¹ a 11090 Kg ha⁻¹. En la tabla siguiente (tabla 11) se detallan dichos resultados.

Tabla 11. Rendimiento de sorgo según tratamientos y bloques en Kg ha⁻¹

Tratamiento	B1	B2	B3	Promedio	
Testigo	4350	1810	4210	3457	a
N50	4580	3320	4960	4287	ab
N150	5030	4900	5080	5003	abc
N100	5315	4250	6380	5315	abcd
N50r	8320	5240	5810	6457	cde
EGPC	5160	8620	7800	7193	cdef
CP	6580	7480	8160	7407	def
N100r	9430	6040	6840	7437	def
EG	6790	6980	10220	7997	ef
EGPCr	10380	8120	7140	8547	ef
N150r	8600	8390	8800	8597	ef
EGr	8030	7570	10780	8793	f
CPr	7500	8920	11090	9170	f

DMS Fisher =2267,9

Las letras diferentes entre filas presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

CP: cama de pollo, EG: estiércol de gallina, EGPC: estiércol de gallina parcialmente compostado, CPr: cama de pollo refertilizado, EGr: estiércol de gallina refertilizado, EGPCr: estiércol de gallina parcialmente compostado refertilizado.

Se puede observar que los altos rendimientos se encuentran en los tratamientos que se refertilizaron, no encontrando diferencias significativas entre los tratamientos de origen orgánico refertilizado y la máxima dosis de urea refertilizada

No se encontraron diferencias significativas entre bloques (p -valor = 0,96).

En la figura 3 se grafica la curva de respuesta del rendimiento con los diferentes tratamientos.

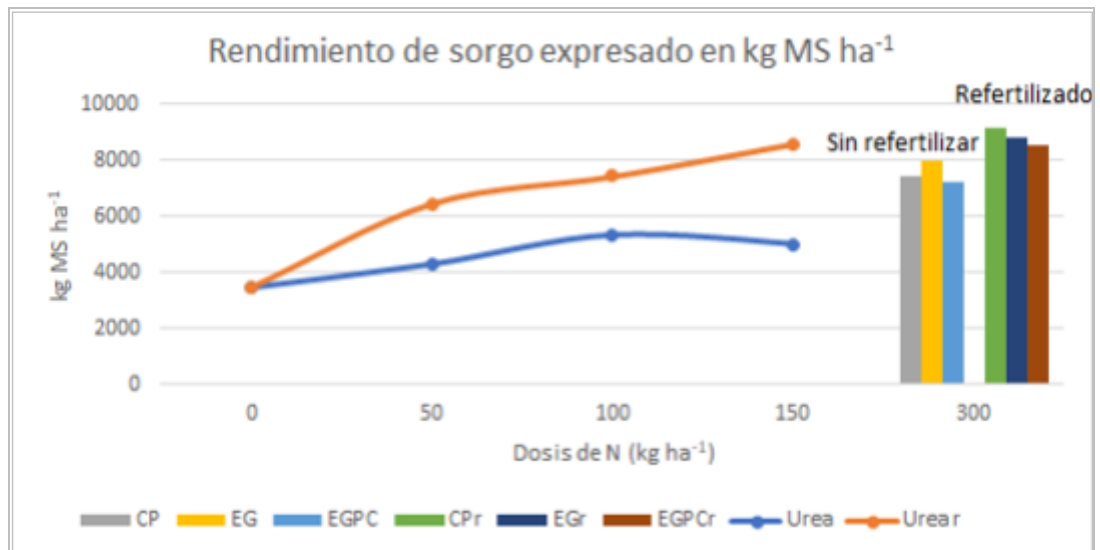


Figura 3. Curva de respuesta al rendimiento de sorgo.

Se observa una mayor respuesta al rendimiento en los tratamientos de origen orgánico refertilizados y una respuesta ascendente a medida que aumenta la dosis de urea en los tratamientos de origen mineral.

También se ve que si se refertiliza, el rendimiento aumenta tanto si es de origen mineral como orgánico.

Para analizar con mayor profundidad el efecto de los tratamientos se realizaron algunas comparaciones entre grupos de estos mediante contrastes.

- Comparación entre el rendimiento de los tratamientos fertilizados con materiales orgánicos (CP, EG, EGPC, CPr, EGr, EGPCr) y el rendimiento de los tratamientos solo fertilizado con N mineral (urea) (N50, N100, N150, N50r, N100, N150r). Se observó diferencias altamente significativas (p -valor=0,0003) entre los grupos contrastados como se observa en la figura 4 y en la tabla 8 del anexo.

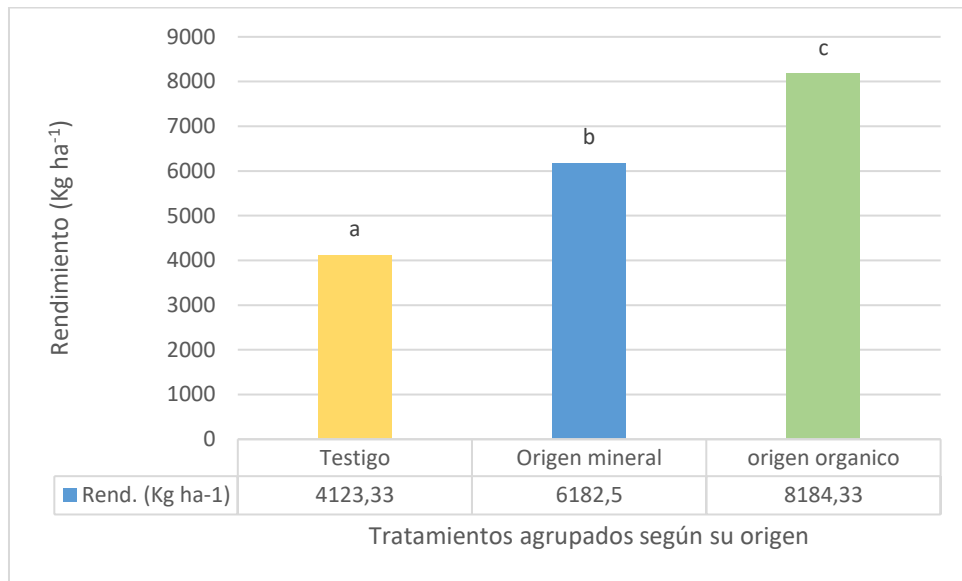


Figura 4. Comparación de rendimientos expresado en kg ms ha⁻¹ con fertilizantes de origen orgánico (CP, EG, EGPC, CPr, EGr, EGPCr) y origen mineral (N50, N100, N150, N50r, N100, N150r) DMS=1555,35.

- Comparación entre rendimiento del N mineral refertilizado y N mineral no refertilizado proveniente de urea. Existen diferencias altamente significativas entre estos grupos (p-valor=0,0006), como se observa a continuación en la figura 5 y en la tabla 9 del anexo.

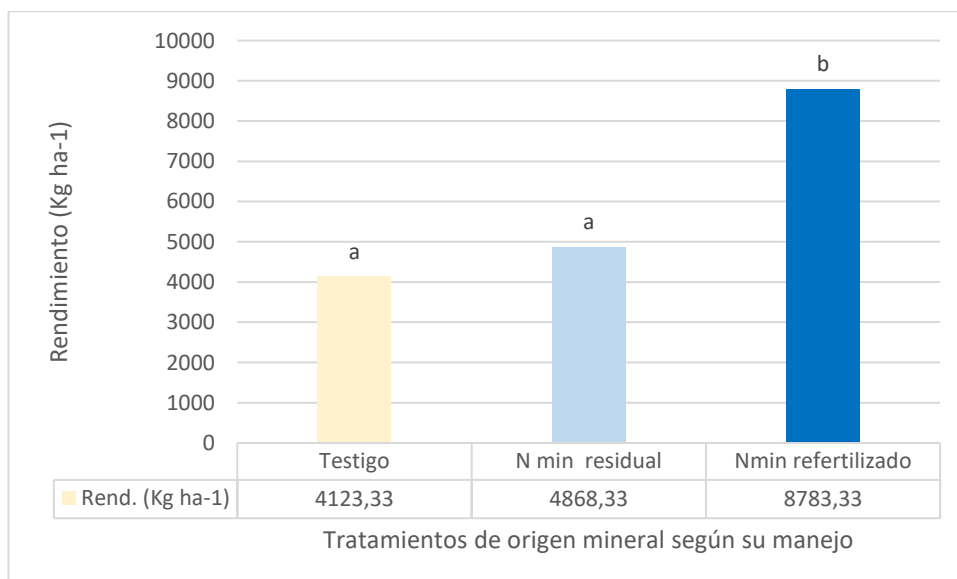


Figura 5. Comparación entre rendimiento del sorgo en kg MS ha⁻¹ de los tratamientos refertilizados con N mineral, los no refertilizados y el testigo. DMS=1507,18.

- Comparación entre rendimiento de tratamientos de origen orgánico y tratamiento de origen orgánico refertilizado, entre estos tratamientos no se encontraron diferencias significativas; en la figura 6 se observa dicha comparación.

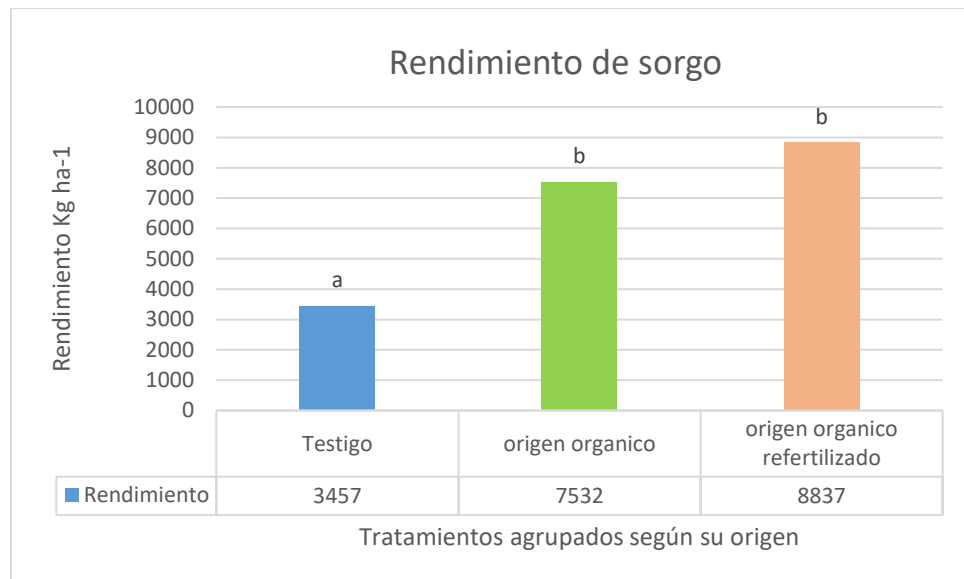


Figura 6. Comparación entre rendimiento del sorgo en Kg MS ha⁻¹ de los tratamientos de origen orgánico residual (CP, EG, EGPC) y origen orgánico refertilizados (CPr, EGr, EGPCr) y el testigo.
DMS=2345,47.

En esta gráfica (figura 6) se observa que no hay diferencias significativas entre el promedio de los fertilizantes de origen orgánico refertilizado y no refertilizado pero si hay diferencias significativas con el testigo (p-valor =0,007). Por lo que se podría decir que la enmienda de origen orgánico tiene cierta residualidad que la urea no presenta.

6.2.1 Contenido de nitrógeno en planta de sorgo.

Luego de los datos de rendimiento y sus comparaciones se determinó el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio. En las tablas siguientes se detallan dichos resultados (tablas 12, 13 y 14).

Tabla 12. Contenido de nitrógeno en sorgo expresado en kg ha⁻¹ según tratamiento y bloque (B1, B2, B3).

Tratamiento	B1	B2	B3	Promedio	
N50	59	28	46	45	a
Testigo	46	42	52	47	a
N150	60	43	51	51	a
N100	50	37	85	57	a
N50r	98	45	74	72	ab
CP	93	83	107	95	bc
EGPC	74	110	99	95	bc
N100r	129	91	109	110	cd
EG	107	90	163	120	cde
EGr	122	116	148	129	de
EGPCr	162	121	112	132	de
N150r	130	133	141	135	de
CPr	131	145	162	146	e

DMS Fisher=30,25984

Las letras diferentes entre filas presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

CP: cama de pollo, EG: estiércol de gallina, EGPC: estiércol de gallina parcialmente compostado, CPr: cama de pollo refertilizado, EGr: estiércol de gallina refertilizado, EGPCr: estiércol de gallina parcialmente compostado refertilizado.

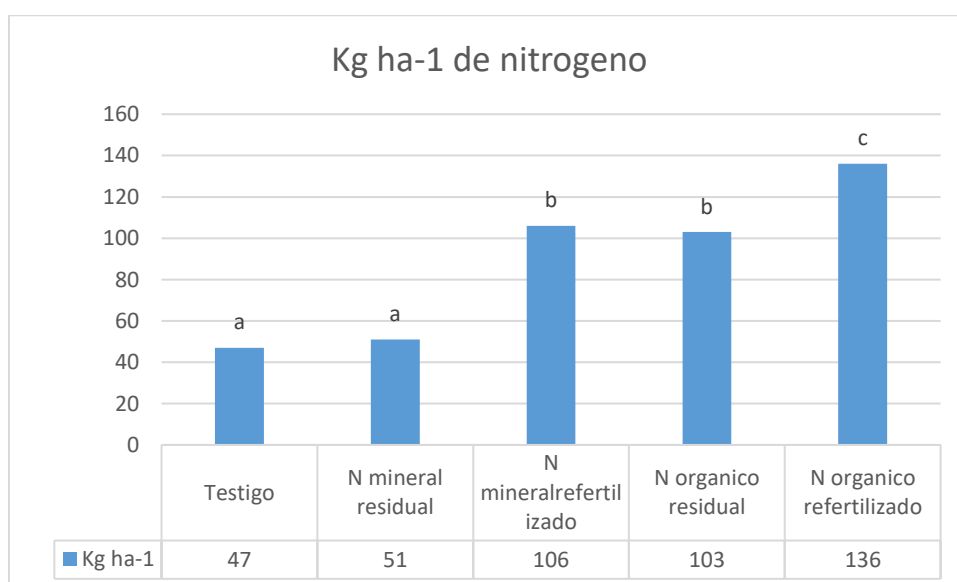
Se puede observar que los tratamientos con menor contenido de nitrógeno son los tratamientos de origen mineral residual, no difiriendo con el testigo, por lo que se puede concluir que la fertilización con N mineral presenta muy poca residualidad de un cultivo a otro. Esto probablemente se deba a la rápida disponibilidad del N-NO₃ proveniente de la urea, y lo que no extrae la

planta se pierde por otros mecanismos (lixiviación), ya que el suelo no es capaz de retener esta forma de N (Perdomo, s.f).

La tabla muestra también que EG, EGr y EGPCr aportan contenidos de N similares que la dosis máxima de urea refertilizada (N150r), ya que estos tratamientos no difieren estadísticamente entre sí. Además, se desprende que la fertilización con los materiales orgánicos realizada en el cultivo de trigo anterior permitió al cultivo de sorgo extraer una cantidad de N equivalente a unos 50 Kg ha⁻¹ (efecto residual) considerando que el suelo aportó naturalmente otros 50 Kg (trat. testigo).

No se encontraron diferencias significativas entre bloques (p-valor= 0,079)

A continuación, se grafica el contraste del contenido de nitrógeno entre los tratamientos según su origen (figura 7), y según su manejo (residualidad vs. refertilización) (figura 8).



DMS Fisher=16,58.

Figura 7. Comparación entre contenido de N en planta de sorgo expresado en Kg de N ha⁻¹ en tratamientos con fertilizante de origen orgánico (CP, EG, EGPC) residuales, origen orgánico refertilizado (CPr, EGr, EGPCr), mineral (N50, N100, N150) residuales y mineral refertilizado (N50r, N100r, N150r).

A partir del contraste de la figura 9 se observa que hay diferencias significativas entre los tratamientos siendo superior el contenido de N en los tratamientos de origen orgánico refertilizado. No se observa diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados con N mineral refertilizado y tratamientos fertilizados de origen orgánico y entre el testigo y los tratamientos fertilizados de origen mineral residual.

El p-valor del contraste es de 0,001.

Comparando los tratamientos de origen mineral se observa la falta de residualidad de los tratamientos no refertilizados, ya que estos no difieren del testigo. En cambio, sí difieren con respecto a los refertilizados, (figura 8).

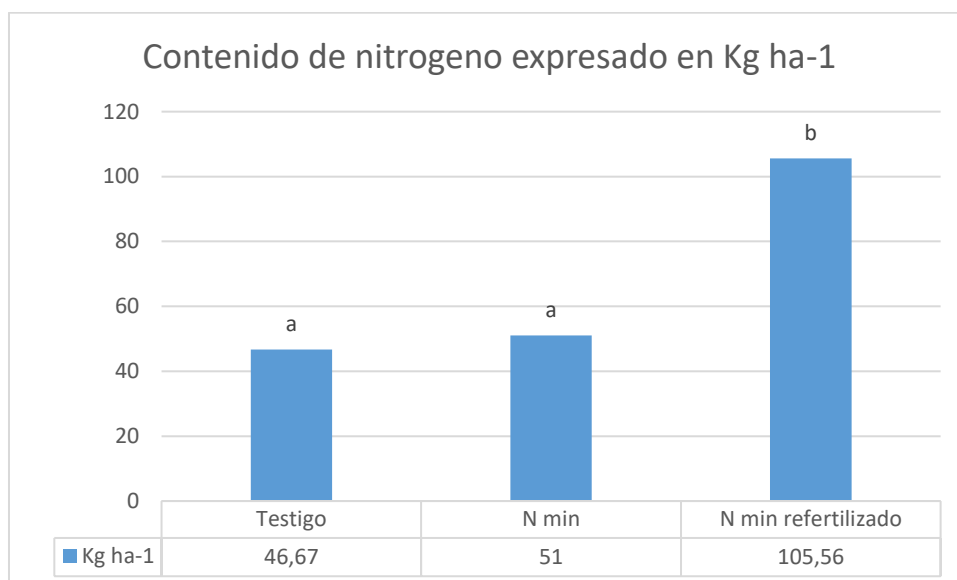


Figura 8. Contenido en Kg. Ha⁻¹ de N min residual (N50, N100, N150) vs N min refertilizado (N50r, N100r, N150r).

Según la figura 8 se puede apreciar que hay diferencias altamente significativas entre los tratamientos con urea (N mineral) residual y urea refertilizado (p-valor=0,001), siendo superior los tratamientos donde se refertilizó, no habiendo diferencias entre la urea residual y el testigo.

Comparando los tratamientos de origen orgánico se observa lo siguiente (figura 9).

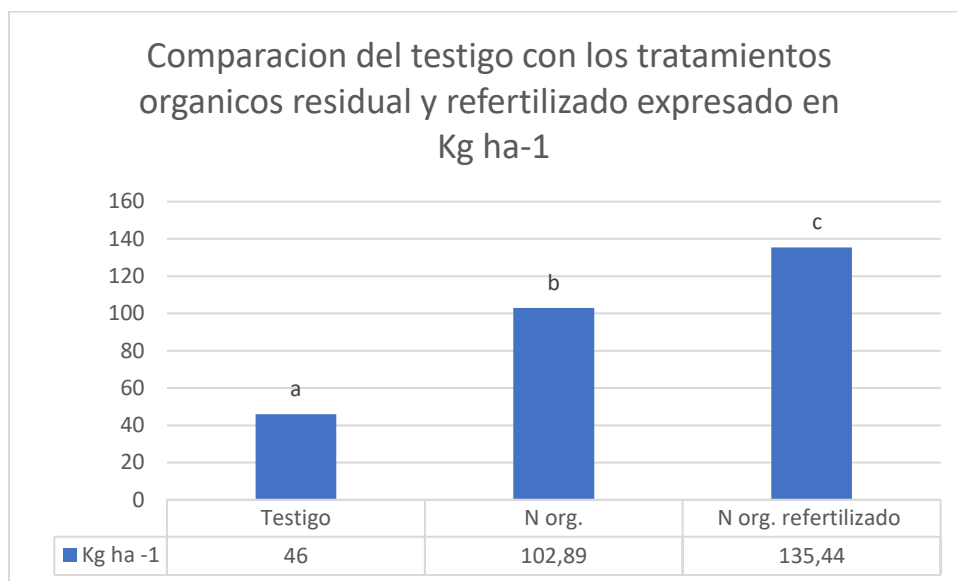


Figura 9. Comparación del testigo con los tratamientos fertilizados de origen orgánico residual y los tratamientos fertilizados de origen orgánico refertilizados.

En este caso, se observa diferencias significativas entre los tratamientos orgánicos refertilizados con respecto a los orgánicos residuales, y ambos diferentes del testigo. Sin embargo, este comportamiento entre los tratamientos orgánicos, no se refleja en los rendimientos, ya que no hubo diferencias significativas entre ellos.

6.2.2 Contenido de fósforo en planta de sorgo

A continuación, se describe en la Tabla 13 el contenido de fósforo expresado en Kg. ha⁻¹.

Tabla 13. Contenido de fósforo en sorgo expresado en Kg. ha⁻¹ según tratamiento.

Tratamientos	B1	B2	B3	Promedio	
N150	9	8	9	9	a
N50	10	8	9	9	a
Testigo	11	8	12	10	ab
N100	10	8	15	11	ab
N50r	18	9	11	13	ab
N100r	17	13	14	15	bc
CP	20	19	16	19	cd
EGPC	16	22	23	20	cd
N150r	20	18	23	20	cd
EGr	23	20	21	22	d
EG	19	21	28	23	d
EGPCr	36	29	24	29	e
CPr	29	30	34	31	e

DMS=2,63120

Las letras diferentes entre filas presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

CP: cama de pollo, EG: estiércol de gallina, EGPC: estiércol de gallina parcialmente compostado, CPr: cama de pollo refertilizado, EGr: estiércol de gallina refertilizado, EGPCr: estiércol de gallina parcialmente compostado refertilizado.

Se puede observar que los tratamientos de menor contenido de P son los tratamientos que contienen urea sin refertilizar, algunos incluso menos que el testigo.

Los tratamientos de mayor contenido de P son los tratamientos de origen orgánico refertilizados como son la CPr y EGPCr.

No se encontraron diferencias significativas entre bloques; en la tabla 14 del anexo se puede ver la prueba de Fisher de los bloques.

6.2.3 Contenido de potasio en planta de sorgo.

El contenido de potasio en el sorgo se situó en un rango que fue desde 34 Kg ha⁻¹ a 218 Kg ha⁻¹ según los tratamientos. En la tabla 14 se detallan dichos resultados.

Tabla 14. Contenido de potasio en sorgo expresado en Kg ha⁻¹

Tratamiento	B1	B2	B3	Promedio	
N150	34	39	42	38	a
Testigo	37	30	54	40	a
N50	45	32	47	41	a
N100	51	33	64	49	a
N50r	76	36	71	61	ab
N100r	76	53	70	66	ab
N150r	61	59	85	69	abc
CP	65	96	124	95	bcd
EGPC	75	114	127	106	cde
EG	86	118	138	114	de
Egr	122	153	123	133	ef
EGPCr	185	129	144	152	f
CPr	104	145	218	156	f

DMS Fisher=37,82587

Las letras diferentes entre filas presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

CP: cama de pollo, EG: estiércol de gallina, EGPC: estiércol de gallina parcialmente compostado, CPr: cama de pollo refertilizado, EGr: estiércol de gallina refertilizado, EGPCr: estiércol de gallina parcialmente compostado refertilizado.

Se observa que los tratamientos refertilizados orgánicos son los que tienen mayor contenido de potasio. Al igual que en el trigo, los tratamientos con menor contenido de K son los de origen mineral ya que los tratamientos solo contienen urea, siendo el suelo quien aporta los demás nutrientes.

Se puede observar cierta residualidad de los tratamientos orgánicos, ya que el cultivo de sorgo extrajo 50 kg más que el testigo.

Se observa diferencias significativas entre los bloques, (tabla 17 del anexo).

6.2.4 Comparación de los tratamientos referido al contenido de fósforo y potasio en planta.

Se realizó un contraste entre tratamientos según su origen (mineral u orgánico) y su manejo (residual o fertilizado) para el contenido de P y de K. En la figura 10 y figura 11 se ven dichos resultados.

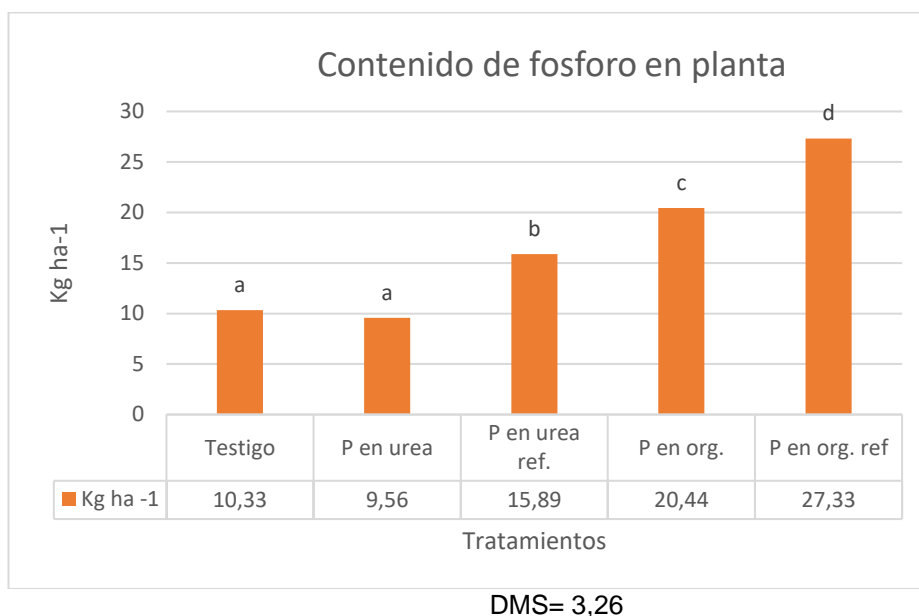
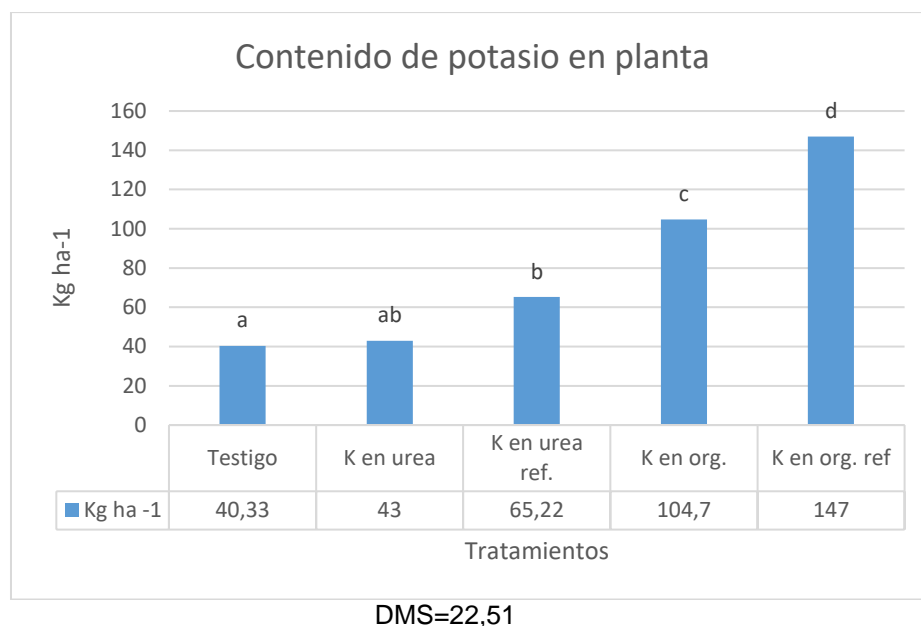


Figura 10. Contenido de P expresado en Kg ha⁻¹ en los tratamientos, según su origen y su manejo.

Se puede observar que al refertilizar con urea la planta absorbió más fósforo (mayor contenido de fósforo en la planta en comparación al testigo y urea residual). Esto puede deberse a que, al aplicar mayores cantidades de nitrógeno, la demanda de otros nutrientes aumenta. Los rendimientos más altos tomarán mayores cantidades de los otros nutrientes; rendimientos crecientes a través de aplicaciones únicamente de nitrógeno, solamente agotarán los suelos de los demás nutrientes (FAO, 2002).

El p-valor del contraste es de 0,001



K urea= N50, N100, N150; K urea refertilizado= N50r, N100r, N150r; K orgánico= CP, EG, EGPC; K orgánico refertilizado= CPr, EGr, EGPCr.

Figura 11. Contenido de K expresado en Kg. ha⁻¹ en los tratamientos, según su origen y su manejo.

A partir de la información de las figuras 12 y 13 se constata que hay diferencias altamente significativas según el manejo, es decir si es residual o refertilizado, siendo para los dos nutrientes (P y K) mayor el contenido en la refertilización. El p-valor del contraste dio menor 0,001.

6.2.5 Contenido de N P K y su relación en el cultivo de sorgo.

Igual que en el trigo, se determinó el contenido y la relación de los nutrientes N, P y K (tabla 15) y se comparó los rendimientos y el contenido de nutrientes en un gráfico (figura 14).

Tabla 15. Contenido de N, P y K expresado en Mg MS y la relación de NPK.

Tratamientos	N	P	K	Relacion NPK		
				N	P	K
testigo	13,6	2,9	11,6	1	0,2	0,9
N50	10,5	2,1	9,6	1	0,2	0,9
N100	10,7	2,1	9,2	1	0,2	0,9
N150	10,2	1,8	7,6	1	0,2	0,7
N50r	11,2	2	9,4	1	0,2	0,8
N100r	14,8	2	8,9	1	0,1	0,6
N150r	15,7	2,3	8	1	0,1	0,5
CP	12,8	2,6	12,8	1	0,2	1
EG	15	2,9	14,3	1	0,2	1
EGPC	13,2	2,8	14,7	1	0,2	1,1
CPr	15,9	3,4	17	1	0,2	1,1
EGr	14,7	2,5	15,1	1	0,2	1
EGCPr	15,4	3,4	17,8	1	0,2	1,2
Promedio	13	3	12			
<i>Referencia*</i>	26	4	18			

CP: cama de pollo, **EG:** estiércol de gallina, **EGPC:** estiércol de gallina parcialmente compostado, **CPr:** cama de pollo refertilizado, **EGr:** estiércol de gallina refertilizado, **EGCPr:** estiércol de gallina parcialmente compostado refertilizado.

*Fuente de requerimiento: Tomado de Fontanetto et al 2012.

Se puede observar que el cultivo tuvo menos cantidad de nutrientes que la referencia. El tratamiento que presentó más nutrientes fue el correspondiente a la CPr, que coincidentemente fue uno de los tratamientos que obtuvo mayor rendimiento.

Los tratamientos de origen orgánico, tanto residuales como refertilizados son los que tuvieron mayor contenido de P y K por unidad de N.

A continuación, se grafica los contenidos de nutrientes (N, P, K) y el rendimiento de los tratamientos agrupados según su origen (mineral u orgánico) y según su manejo (residualidad o refertilización) (figura 12).

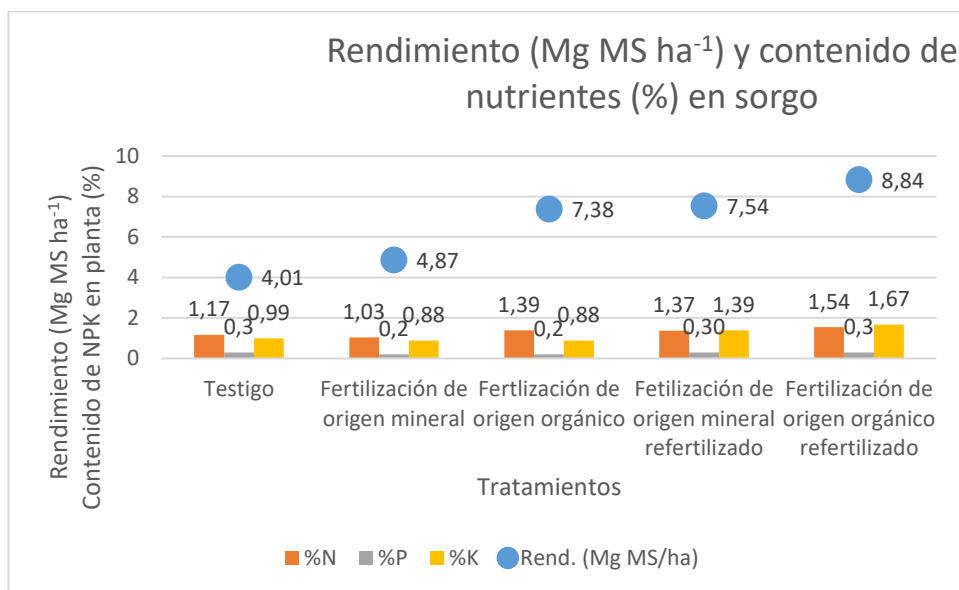


Figura 12. Tendencia del rendimiento expresado en Mg ha⁻¹ y contenido de N, P y K expresado en porcentaje en los grupos de tratamientos de origen mineral (N50, N100, N150), origen orgánico (CP, EG, EGPC), origen mineral refertilizado (N50r, N100r, N150r) y origen orgánico refertilizados (CPr, EGr, EGPCr).

En la figura 12 se observa la tendencia ascendente del rendimiento del sorgo cuando se refertiliza con enmienda orgánica y la diferencia mínima entre el testigo y el fertilizante mineral residual.

6.3. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LOS NIVELES DE ALGUNOS NUTRIENTES EN EL SUELO LUEGO DE LA COSECHA DE SORGO

Luego de la cosecha de sorgo se tomaron muestras de suelo para realizar análisis del contenido de NO₃⁻, P y K de los tratamientos fertilizados con los materiales orgánicos y los fertilizados con las dosis máximas de N mineral (N150 y N150r). Los resultados se presentan en las tablas 16, 17 y 18 respectivamente.

Es importante destacar que, si bien se han analizado los datos de NO₃⁻ los mismos presentan una gran variabilidad en el corto plazo, debido a su

dinámica en el suelo, ya que el mismo no tiene mecanismos para poder retener esta forma de N. Los nitratos se encuentran casi que exclusivamente disueltos en la solución del suelo por lo que su movilidad depende del contenido de agua y de las características del espacio poroso de los horizontes que presente el perfil.

En cambio, la dinámica del P y del K es diferente ya que los mismos son retenidos por el suelo. Por esta razón, los cambios en el contenido de estos elementos son más lentos. Esta característica puede generar acumulación de estos nutrientes cuando son aportados por materiales ricos en ellos como son las enmiendas orgánicas utilizadas en este trabajo.

Tabla 16. Contenido de NO_3^- expresado en ppm en el suelo luego de la cosecha de sorgo.

Tratamientos	NO_3^- (ppm)				
	B1	B2	B3	PROM.	
N150	6	10	4	7	a
Testigo	10	8	3	7	a
N150r	6	10	7	8	a
EG	12	11	15	11	ab
EGPC	14	18	16	16	bc
CP	10	19	28	19	bc
EGPCr	28	16	22	22	c
EGr	22	23	21	22	c
CPr	36	31	25	31	d

p-valor<0,05

DMS=8,27011

CP: cama de pollo, EG: estiércol de gallina, EGPC: estiércol de gallina parcialmente compostado, CPr: cama de pollo refertilizado, EGr: estiércol de gallina refertilizado, EGPCr: estiércol de gallina parcialmente compostado refertilizado.

Se puede observar que el contenido de NO_3^- en el suelo, es mayor en tratamientos de origen orgánico, destacándose la cama de pollo refertilizado como el tratamiento con un contenido significativamente mayor. El nitrógeno proveniente de compuestos orgánicos no está disponible inmediatamente en el suelo y permanece más tiempo en los horizontes superficiales. En cambio,

el N proveniente de la urea, una vez aplicada al suelo y en presencia de humedad, rápidamente pasa a formas asimilables para las plantas y disueltas en la solución del suelo, por lo tanto, muy móviles y susceptibles a perderse por lixiviación o escorrentía si las raíces no las absorben. Esta dinámica diferencial del N proveniente de los materiales orgánicos y de la urea, explicaría las diferencias encontradas (tabla 16).

Tabla 17. Contenido de P (ppm) en suelo luego de cosecha del sorgo.

Tratamientos	P (ppm)			Prom.	
	B1	B2	B3		
N max	9,6	11,2	7,2	9,3	a
N max. R	13,9	6,5	10,5	10,3	a
Testigo	11,35	10,2	12,5	11,4	a
EG	28,7	23,2	16,9	22,9	a
EGr	60,2	58,5	29,3	49,3	b
CP	88,9	43,9	22,7	51,8	b
EGPC	66,8	40,7	54,2	53,9	b
CPr	40,7	72,3	50,5	54,5	b
EGPCr	78,6	93,5	94,6	88,9	c

p-valor =0,01

DMS=10,48953

Las letras diferentes entre filas presentan diferencias significativas ($p < 0,05$).

CP: cama de pollo, EG: estiércol de gallina, EGPC: estiércol de gallina parcialmente compostado, CPr: cama de pollo refertilizado, EGr: estiércol de gallina refertilizado, EGPCr: estiércol de gallina parcialmente compostado refertilizado.

El contenido de fósforo en el suelo, como era de esperar, es mayor en casi todos los tratamientos orgánicos, con excepción del estiércol de gallina, ya que los tratamientos de origen mineral no poseen este nutriente.

Tabla 18. Contenido de K (cmol. / Kg) en suelo luego de cosecha del sorgo.

Tratamientos	K (cmol. /Kg)				
	B1	B2	B2	PROM	
Testigo	0,28	0,23	0,37	0,29	a
Nmax.r	0,25	0,29	0,36	0,3	a
Nmax.	0,26	0,31	0,34	0,3	a
EG	0,27	0,32	0,37	0,32	a
CP	0,48	0,44	0,4	0,44	ab
EGPC	0,54	0,51	0,59	0,55	bc
EGr	0,65	0,67	0,64	0,65	cd
CPr	0,96	0,76	0,71	0,81	de
EGPCr	0,74	0,91	0,83	0,827	e

p-valor<0,05

DMS Fisher= 0,20702

Las letras diferentes entre filas presentan diferencias significativas (p<0,05).

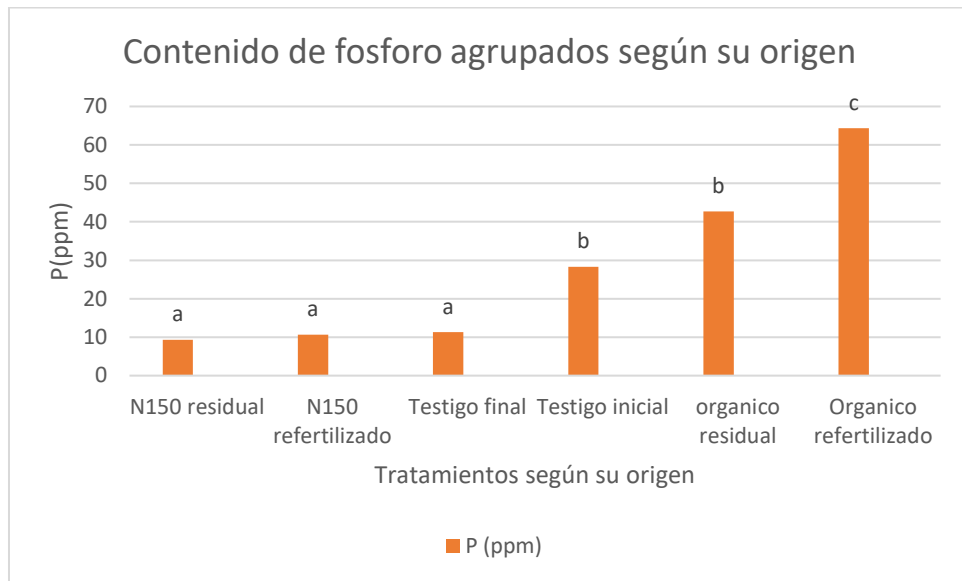
CP: cama de pollo, EG: estiércol de gallina, EGPC: estiércol de gallina parcialmente compostado, CPr: cama de pollo refertilizado, EGr: estiércol de gallina refertilizado, EGPCr: estiércol de gallina parcialmente compostado refertilizado.

Se puede observar que los tratamientos que aportan más potasio al suelo son los de origen orgánico y sobre todo los refertilizados.

Cabe destacar, aunque no siempre con significación estadística, que el contenido de K en el suelo es mayor cuando en el material orgánico hay un componente vegetal que acompaña al estiércol, como es el caso de la cáscara de arroz en CP y la viruta de distintas maderas en el compostaje del estiércol de gallina. Además, se observa que en el tratamiento residual del EG, la cantidad de K en el suelo es significativamente menor que en el resto de los tratamientos orgánicos con excepción de la CP residual.

Los tratamientos con menores contenido de potasio son el testigo, el N min y el EG.

Si se analizan los tratamientos según su origen y se comparan con los testigos antes del cultivo, se puede observar que los tratamientos de origen orgánico tienen mayor contenido de fósforo y de potasio. En las figuras 12 y 13 se observan dichos resultados.



p-valor =0,01

Figura 13. Contenido de fósforo expresado en ppm luego de los cultivos agrupados según su origen.

Se puede observar que los tratamientos refertilizados con materiales orgánicos tienen más contenido de fósforo; en cambio los de origen mineral y el testigo, al final de los cultivos, son los que tienen menor contenido de este nutriente.

Se observa también que el contenido de P del testigo inicial es mayor que el del testigo final, lo cual se explica por la extracción de este nutriente de las reservas procedentes del suelo ya que no hubo aportes por fertilización.

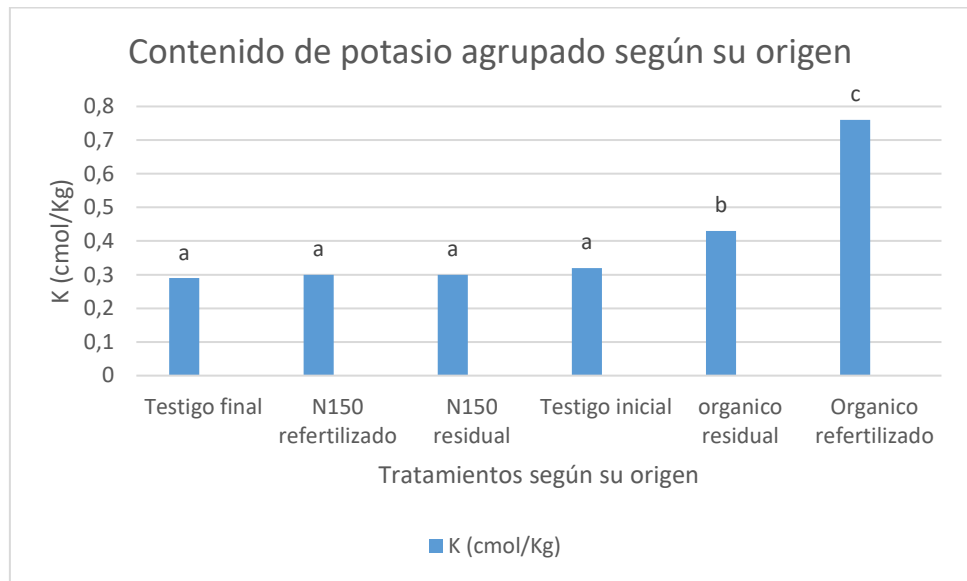


Figura 14. Contenido de potasio en cmol/ Kg luego de los cultivos agrupados según su origen.
p-valor=0,01

Al igual que el fósforo, tratamientos con materiales de origen orgánico refertilizados tienen mayor contenido de potasio que los tratamientos de origen mineral; pero en este caso el testigo inicial no difiere significativamente del testigo final ni de los tratamientos que recibieron fertilización con urea.

Para observar con mayor claridad los resultados de los tratamientos en el suelo luego de los cultivos se comparan los promedios de los contenidos de nutrientes antes de la siembra de los cultivos y después de estos; en la tabla siguiente se observan dichos resultados (tabla 19).

Tabla 19. Promedio del contenido de NO_3^- , P y K antes y al final de los cultivos.

Tratamientos	NO_3^- ppm	P ppm	K $\text{cmol}^+ \text{Kg}^{-1}$
Testigo inicial	34 d	28 b	0,32 a
Testigo final	7 a	11 a	0,29 a
N150 residual	7 a	9 a	0,30 a
N150 refertilizado	8 a	11 a	0,30 a
Trat. orgánico residual	16 b	43 b	0,43 b
Trat. orgánico refertilizado	25 c	64 c	0,76 c

Se puede concluir que luego del trabajo experimental, en los tratamientos de origen orgánico (residual y refertilizado) se verifica mayor contenido de K y P. Si se compara el contenido de fósforo, luego de los cultivos, los tratamientos orgánicos refertilizados, multiplicaron el contenido de nutriente en 2,29. En el potasio ocurre lo mismo, el contenido del nutriente en los tratamientos orgánicos se multiplica en 2,38 con respecto al testigo inicial.

En cambio, el contenido de NO_3^- en el suelo disminuye luego de la cosecha, esto puede deberse a que los nitratos pueden moverse con el agua del suelo y llegar hasta las raíces; por el contrario, el P y el K no se mueven en el suelo y quedan posicionalmente en la medida que las raíces se extienden hacia la zona donde están retenidos. Debido a la forma diferencial de cómo se distribuye el fertilizante en el suelo, en términos generales, es un factor más importante para el P y K que para el N (Rabuffetti et al, 2010).

7. CONCLUSIONES

Si bien un ciclo de cultivo de trigo y sorgo no es suficiente para sacar conclusiones consistentes y generalizables, se observó que todos los tratamientos, mostraron respuesta en rendimiento frente al testigo.

En el trigo la enmienda orgánica no presentó diferencias significativas en cuanto al rendimiento y contenido de nitrógeno con respecto a los tratamientos de origen mineral; en cambio se destaca que los tratamientos de origen orgánico presentaron un mayor contenido en planta de fósforo y potasio con respecto a los tratamientos de origen mineral.

En el cultivo de sorgo la enmienda orgánica presentó una mayor respuesta al rendimiento y una mayor residualidad con respecto a los tratamientos de origen mineral. Al comparar los tratamientos según su origen los tratamientos de origen mineral refertilizado y la enmienda orgánica residual presentaron iguales rendimientos por lo que se observa cierta residualidad por parte de la enmienda orgánica.

En cuanto al contenido de macronutrientes, se constató que los tratamientos con mayor concentración en la planta son los tratamientos de origen orgánico refertilizados, tanto de nitrógeno, fósforo y potasio.

En la post cosecha de sorgo se pudo observar en el suelo un mayor contenido de P y K que antes del experimento (2,29 más contenido de P y 2,38 más de K con respecto al testigo antes de los tratamientos). El NO_3 en el suelo disminuyó debido a su movilidad en el suelo.

De forma general en los tratamientos donde se refertilizó el resultado es mejor que en los tratamientos residuales y parte del contenido de fósforo y potasio permaneció en el suelo luego de la cosecha; sin embargo, no es del todo clara esta residualidad.

Para poder concluir sobre la residualidad es importante medir el efecto año, ya que la variabilidad de las temperaturas y precipitaciones en el tiempo determinan que sea insuficiente con la información de un año solo; por tanto, sería de interés continuar con el experimento algunos años más, para saber cómo evoluciona el nivel de los nutrientes estudiados.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBAZÁN, M.; DEL PINO, A.; MOLTINI, C.; HERNÁNDEZ, J.; RODRÍGUEZ, J. 2011. Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay. *Agrociencia*. Uruguay. 15(1): 82-92.

CABRERA, M. 2015. Reciclado de Nutrientes: Ventajas, Oportunidades, Desafíos y Amenazas. Departamento de Ciencias de Cultivos y del Suelo. (en línea). EE.UU. Consultado: 17 Abr. 2019. Disponible en: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/reciclando-nutrientes-ventajas-oportunidades-t32370.htm>

CABRERA, M.L.; GORDILLO, R.M. 1995. Nitrogen release from land-applied animal manures. (en línea). Athens, Georgia. Consultado: 21 Ag. 2019. Disponible en: <https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/43761/CabreraM-GordilloR-95.pdf>

COLBORN, T.; VOM SAAL, F.S.; SOTO, A.M. 1993. Developmental effects of endocrine-disrupting chemicals in wildlife and humans. *Environ. Health Perspect.* 101: 378-384.

DOCAMPO, R. 2010. Manejo de suelos para sistemas de producción hortícola sustentables. En Seminario de actualización técnica. Rincón del Colorado, Canelones, Uruguay. INIA. p. 33-50. (Serie Actividades de Difusión no. 624).

- DOCAMPO, R. 2012. Estado del Arte: tecnologías apropiadas y parámetros que afectan la eficiencia del proceso de compostaje. Montevideo. Uruguay. INIA-FAO. 38 p.
- DOCAMPO, R. 2013. Compost y compostaje. Revista INIA. (35): 63-37.
- FAO. (Food and Agriculture Organization). 2002. La fertilización y su uso. Rome. (en línea). Consultado: 16 Ene. 2021. Disponible en: <http://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
- FERNÁNDEZ DEL POZO. 1984. La urea, fertilizante nitrogenado. (en línea). Chile. Consultado: 8 Ago. 2018. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/28476>. Investigación y Progreso Agropecuario La Platina N° 26, 1984.
- FRANCIA, A. 2014. Cama de pollo: la eficacia de su uso como fertilizante. (en línea). Argentina. Consultado: 9 Set. 2018. Disponible en: [http://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?titulo=cama de pollo I a eficacia de su uso como fertilizante&id=2183](http://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?titulo=cama%20de%20pollo%20I%20a%20eficacia%20de%20su%20uso%20como%20fertilizante&id=2183)
- GARCÍA DE SOUZA, M.; MANCASSOLA, A.; DOGLIOTTI, V. 2011. Carbono orgánico y propiedades físicas del suelo en predios hortícolas del sur de Uruguay. Agrociencia. 15(1): 70-81.
- GRIFFIN, T.; HONEYCUTT, C. 2000. Using growing degree days to predict nitrogen availability from livestock manures. Soil Science Society of America Journal. 64(5): 1876-1882.
- IAGUA. 2011. Eutrofización: Causas, consecuencias y soluciones. (en línea). España. Consultado: 2 May. 2018. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/sewervac-iberica/eutrofizacion-causas-consecuencias-y-soluciones>.

- INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en Argentina). Argentina. 2016. (en línea). Consultado: 11 Nov. 2017. Disponible en: <http://agriculturers.com/el-rol-nutrientes-resistencia-enfermedades-plantas/>.
- KOLMANS, E; VÁSQUEZ, D. 1999. Manual de Agricultura Ecológica. (en línea). Cuba. Consultado: 4 May. 2018. Disponible en: <http://www.caminosostenible.org/wpcontent/uploads/BIBLIOTECA/Manual-Agricultura-Eco.pdf>
- MOLTINI, C.; SILVA, A. 1981. Fertilización con nitrógeno y fósforo en cebolla bajo diferentes situaciones de suelo. Tesis Ingeniero Agrónomo. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. s.d.
- MORÓN, A.; MARTINO, D.; SAWCHIK, J. 1999. Manejo y fertilización de suelo. Montevideo, Uruguay. INIA. 173 p. (Serie Técnica no. 76).
- PERDOMO, C.; BARBAZÁN, M.; DURAN, JM. s.f. Nitrógeno. Revista del área de suelos y aguas Cátedra de Fertilidad de la Facultad de Agronomía. 1-74.
- RABUFFETTI, A.C.; GARCÍA, C.; DOCAMPO, R.; CASANOVA, S.R.; MOURA, C.; SLOMARK, H. 2010. Evaluación Agronómica y Ambiental del estiércol de ave como fuente de N en sistemas de producción intensiva. (en línea). Serie Actividades de Difusión INIA. (624): 33-50. INIA. Montevideo. Consultado: 5 Feb. 2019. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2409/1/18429121210205342.pdf;ad624#page=39>

- RABUFFETTI, A. 2017. La fertilidad del suelo y su manejo. Montevideo: Hemisferio Sur. 900 p.
- SHARPLEY, A.; ROBINSON, J. S.; SMITH, S.J. 1995. Evaluación de la sostenibilidad ambiental de los sistemas agrícolas mediante la simulación de la pérdida de nitrógeno y fósforo en la escorrentía. España. Revista Europea de Agronomía. Consultado: 21 Mar. 2018. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S116103011480097X>
- SOTO, G; MELÉNDEZ. G, 2004. Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. (en línea). Costa Rica. Consultado: 6 May. 2019. Disponible en: <http://repositorio.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/318/A1909E.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- TOGNETTI, C.; LAOS, M.J.; MAZZARINO, F.; HERNÁNDEZ, M.T. 2005. Composting vs Vermicomposting: A Comparison of End Product Quality. Compost Science & Utilization. 13(1): 6-13.
- TORTOSA, G. 2013. Materiales para compostar: Estiércol de gallina o "Gallinaza". (en línea). Consultado: 27 May. 2019. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2013/06/gallinaza-html/>
- VILLALBA, G.; LIU, H.; SCHRODER, Y.; AYRES, R.U. 2008. Global phosphorus flow in the industrial economy from a production perspective. Journal of Industrial Ecology. 12: 557-569.

WATANABE, N.; HARTER, T.H.; BERGAMASCHI, B.A. 2008. Environmental occurrence and shallow ground water detection of the antibiotic monensin in dairy farms. *Journal of Environmental Quality*. 37: S78-S85.

9. ANEXO

CP	EG	Urea 150	Testigo	Urea 50	Urea 100	EGPC	Bloque 1
Testigo	Urea 50	CP	EGPC	Urea 150	Urea 100	EG	Bloque 2
EGPC	CP	Urea 150	Urea 100	EG	Testigo	Urea 50	Bloque 3

Figura 1: Croquis de las parcelas donde se detalla con qué se fertilizó en cada una de ellas

CP	EGr	Urea 150	Testigo	Urea 50	Urea 100r	EGPC	Bloque 1
CPr	EG	Urea 150r		Urea 50r	Urea 100	EGPCr	
Testigo	Urea 50r	CPr	EGPCr	Urea 150	Urea 100r	EGr	Bloque 2
	Urea 50	CP	EGPC	Urea 150r	Urea 100	EG	
EGPC	CP	Urea 150	Urea 100	EGr	Testigo	Urea 50	Bloque 3
EGPCr	CPr	Urea 150r	Urea 100r	EG		Urea 50r	

Figura 2: Croquis de parcelas divididas donde se detalla en cuál se refertilizó (r) y en que subparcela no se fertilizó.

Tabla 1. Análisis de varianza del rendimiento de trigo

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Trat.	14355270,8	6	2392545	9,39	0,0006
Bloques	522474,89	2	261237,4	1,03	0,388
Error	3056957,77	12	254746,5		
Total	17934703,5	20			

Tabla 2. Rendimiento y contenido de N, P y K

	Rend. (Ton.MS)	%N	%K	%P
TESTIGO	2,8	1,03	0,78	0,12
N 50	5,0	1,09	0,84	0,11
N 100	5,0	1,23	0,82	0,11
N150	4,5	1,47	0,91	0,11
CP	4,6	1,3	1,45	0,15
EG	5,1	1,52	1,16	0,15
EGPC	5,5	1,26	1,48	0,16

Tabla 3. Análisis de varianza del contenido de N.

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Trat.	4185,41	6	697,57	5,81	0,0048
Bloque	178,84	2	89,42	0,74	0,4957
Error	1441,49	12	120,12		
Total	5805,75	20			

Tabla 4. Análisis de varianza del contenido de P

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Trat.	59,06	6	9,83	11,9	0,002
Bloque	0,05	2	0,03	0,03	0,9696
Error	9,91	12	0,83		
Total	68,97	20			

Tabla 5. Análisis de varianza del contenido de K.

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Trat.	7078,7	6,0	1179,8	17,10	<0,0001
Bloque	66,6	2,0	33,3	0,48	0,6285
Error	828,0	12,0	69,0		
Total	7973,31	20			

SORGO

Tabla 6. Rendimiento de sorgo y contenido de N, P y K

	Rend. (Ton.MS)	%N	%P	%K
Testigo	4,01	1,17	0,3	0,99
N50	4,29	1,03	0,2	0,96
N100	5,32	1,05	0,2	0,91
N150	5,01	1,02	0,2	0,77
N50r	6,13	1,10	0,2	0,94
N100r	7,42	1,49	0,2	0,90
N150r	8,60	1,57	0,2	0,80
CP	7,41	1,28	0,3	1,26
EG	8,01	1,49	0,3	1,44
EGPC	7,19	1,33	0,3	1,47
CPr	9,17	1,61	0,3	1,66
EGr	8,80	1,47	0,3	1,56
EGPCr	8,55	1,54	0,3	1,79

Tabla 7. Análisis de varianza del rendimiento de sorgo.

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor
Tratamientos	123459841	12	10288320,3	5,24	0,0002
Bloques	9425226,67	2	4707558,33	5,68	0,0002
Error	43468866,67	24	1811202,78	2,6	0,0951
Total	176343824,4	38			

Tabla 8. Contraste entre los rendimientos de fertilizantes de origen orgánico (CP, EG, EGPC, CPr, EGr, EGPCr) vs origen mineral (N50, N100, N150, N50r, N100, N150r)

TRAT.	Contraste	EE	SC	F	p-valor
orgánico vs mineral	12011,67	2852,37	36070034	17,73	0,0003

Tabla 9. Contraste entre rendimiento del N mineral refertilizado y N mineral no refertilizado proveniente de urea.

TRAT.	Contraste	EE	SC	F	p-valor
N min residual vs N min refertilizado	-7885	2016,3	31086613	15,28	0,0006

Tabla 10. Contraste de fertilización vs refertilización.

	P	K
Contraste	6,61	32,22
EE	1,06	7,49
SC	393,36	9344,44
F	38,81	18,5
p-valor	<0,0001	<0,0001

Tabla 11. Análisis de varianza del contenido de N

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Trat.	486660,1	12	4055,01	12,58	0,002
Bloque	2826,57	2	1413,28	4,38	0,079
Error	7738,54	24	322,44		
Total	59225,18	38			

Tabla 12. Contraste de Kg de N de fertilizante de origen orgánico vs mineral.

	Contraste	EE	SC	F	p-valor
Kg de N de fertilizante de origen orgánico vs mineral	40,98	5,96	15047,11	47,04	<0,0001

Tabla 13. Contraste de Kg de N min residual (N50, N100, N150) vs N min refertilizado (N50r, N100r, N150r)

Trat.	Contraste	EE	SC	F	p-valor
Nmin residual vs Nmin refertilizado	43,56	5,96	17073,78	53,3	0,0001

Tabla 14: Análisis de varianza del contenido de P

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Trat.	1979,3	12	164,94	15,61	<0,0001
Bloque	40,82	2	20,41	1,93	0,1668
Error	253,55	24	10,56		
Total	2273,66	38			

Tabla 15: Análisis de varianza del contenido de K.

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Trat.	65391,69	12	5449,31	10,82	<0,0001
Bloque	4059,19	2	2029,59	4,03	0,031
Error	12092,16	24	503,84		
Total	81543,03	38			

Tabla 16: Prueba de Fisher de los bloques de K

Bloque	Medias	
1	78.32	a
2	79.66	a
3	100	b

Tabla 17: Contraste entre fertilizante de origen mineral vs fertilizante de origen orgánico para los contenidos de P y K.

	P	K
Contraste	11,17	71,78
EE	1,06	7,49
SC	1122,25	46368,44
F	110,71	91,78
p-valor	0,0001	<0,0001

Tabla 18: Análisis de varianza del contenido de fósforo en el suelo luego de los tratamientos.

TRATAMIENTO	P (ppm)				
	BLOQUE 1	BLOQUE 2	BLOQUE 3	PROM	
N150 residual	10	11	7	9,33	a
N150 refertilizado	14	7	11	10,67	a
Testigo final	11	10	13	11,33	a
Testigo inicial	28	25	32	28,33	b
organico residual	61	36	31	42,67	b
Organico refertilizado	60	75	58	64,33	c
p- valor =0,01					
DMS=14,83444					

Tabla 19: Análisis de varianza del contenido de potasio en el suelo luego de los tratamientos.

TRATAMIENTO	K (cmol/Kg)				
	BLOQUE 1	BLOQUE 2	BLOQUE 3	PROM	
Testigo final	0,28	0,23	0,37	0,29	a
N150 refertilizado	0,25	0,29	0,36	0,3	a
N150 residual	0,26	0,31	0,34	0,3	a
Testigo inicial	0,27	0,34	0,36	0,32	a
organico residual	0,43	0,42	0,43	0,43	b
Organico refertilizado	0,78	0,78	0,73	0,76	c
p-valor<0,0001					
DMS=0,07457					