

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DEL SISTEMA DE ROTACIONES, AGREGADO DE NITRÓGENO
Y/O RETIRO DE RESIDUOS SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ, SORGO
GRANO Y SORGO SILERO

por

Imanol BELÉN IMAS

Nicolás GARCÍA ORTÍZ DE TARANCO

Juan Manuel LUSIARDO SANZ

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

MONTEVIDEO

URUGUAY

2023

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Guillermo Siri Prieto

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. Mauricio Bustamante

Fecha: 07 de diciembre de 2023

Autores: -----

Imanol Belén Imas

Nicolás García Ortiz de Taranco

Juan Manuel Lusiardo Sanz

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a nuestras familias y amigos por el apoyo y respaldo constante a lo largo de la carrera.

A los Ingenieros Agrónomos Guillermo Siri y Oswaldo Ernst por la ayuda brindada durante la realización de esta tesis.

A la Licenciada Sully Toledo por la asistencia constante durante la investigación.

Al Ingeniero Agrónomo Mauricio Bustamante por su aporte en el trabajo de campo.

A la Facultad de Agronomía y a todos sus funcionarios por acompañarnos a recorrer este camino que hoy culmina, y del cual nos llevamos muchos recuerdos y amigos.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. SIEMBRA DIRECTA Y RASTROJOS EN SUPERFICIE.....	2
2.2. EFECTO DE LA PRESENCIA DE RASTROJO EN SUPERFICIE SOBRE LAS CONDICIONES EDÁFICAS.....	3
2.2.1. <u>Efecto sobre la temperatura, las pérdidas y eficiencia en el uso del agua</u>	3
2.2.2. <u>Efecto sobre el carbono orgánico del suelo</u>	5
2.2.3. <u>Efecto sobre la disponibilidad de nitrógeno</u>	6
2.3. EFECTO DE LA PRESENCIA DE RASTROJO EN SUPERFICIE SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS.....	7
2.3.1. <u>Germinación, implantación y crecimiento</u>	7
2.3.2. <u>Rendimiento</u>	8
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	10
3.1. LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO.....	10
3.2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	10
3.2.1. <u>Aspectos tecnológicos y logísticos de la instalación del ensayo</u>	10
3.2.2. <u>Definición de los tratamientos</u>	11
3.2.3 <u>Variables evaluadas</u>	14
3.2.4. <u>Procesamiento de los datos</u>	14
3.2.5. <u>Mediciones realizadas</u>	17
3.2.5.1. Durante el cultivo.....	17
3.2.5.2. Cosecha y post cosecha.....	18
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	19
4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE EL PERÍODO DEL CULTIVO.....	19
4.2. MAÍZ.....	21
4.2.1. <u>Efecto del nivel de retiro de residuos sobre el contenido de nitratos en suelo a V6</u>	26
4.2.2. <u>Efecto de la interacción entre retiro de residuos, nitrógeno y rotación sobre el rendimiento</u>	27
4.2.3. <u>Efecto del nivel de retiro de residuos, nitrógeno y rotación sobre las espigas por metro cuadrado</u>	29

4.2.4.	<u>Efecto del nivel de retiro de residuos, nitrógeno y rotación sobre las espigas por planta</u>	30
4.2.5.	<u>Efecto del nivel de retiro de residuos, nitrógeno y rotación sobre los granos por espiga</u>	30
4.2.6.	<u>Efecto del nivel de retiro de residuos, nitrógeno y rotación sobre los granos por metro cuadrado</u>	31
4.2.7.	<u>Efecto del nivel de retiro de residuos, nitrógeno y rotación sobre el peso de mil granos</u>	32
4.2.8.	<u>Efecto del nivel de retiro de residuos, nitrógeno y rotación sobre la humedad</u>	34
4.3.	SORGO GRANO.....	34
4.3.1.	<u>Efecto del nivel de retiro de residuos y nitrógeno sobre la implantación</u>	34
4.3.2.	<u>Efecto del nivel de retiro de residuos y nitrógeno sobre el rendimiento</u>	35
4.3.3.	<u>Efecto del nivel de retiro de residuos y nitrógeno sobre las espigas por metro cuadrado</u>	36
4.3.4.	<u>Efecto del nivel de retiro de residuos y nitrógeno sobre las espigas por planta</u>	37
4.3.5.	<u>Efecto del nivel de retiro de residuos y nitrógeno sobre los granos por espiga</u>	37
4.3.6.	<u>Efecto del nivel de retiro de residuos y nitrógeno sobre el peso de mil granos</u>	38
4.4.	SORGO FORRAJERO.....	41
4.4.1.	<u>Efecto del sistema de rotación y nitrógeno sobre el rendimiento</u>	42
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	44
6.	<u>RESUMEN</u>	45
7.	<u>SUMMARY</u>	46
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	47

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Probabilidad y coeficiente de variación de las variables determinantes del rendimiento para maíz.....	22
2. Probabilidad y coeficiente de variación de las variables determinantes del rendimiento en sorgo grano.....	34
3. Tallosm ⁻² , peso de 10 tallos y rendimiento según sistema, nitrógeno e interacción.....	42

Figura No.

1. Tratamientos aplicados al maíz.....	12
2. Tratamientos aplicados al sorgo grano.....	13
3. Tratamientos aplicados al sorgo forrajero.....	14
4. Temperaturas promedio mensuales registradas durante 2018-2019, comparadas con una serie histórica (1961-2000).....	19
5. Precipitaciones promedio mensuales registradas en 2018-2019, comparadas con una serie histórica (1961-2000).....	20
6. Período crítico para maíz y sorgo.....	21
7. Implantación de maíz según nitrógeno.....	23
8. Implantación de maíz según los niveles nulo y alto retiro de residuos del cultivo antecesor.....	24
9. Número de plantas por metro cuadrado según sistema de rotación y nitrógeno.....	25
10. Nitratos a V6 (ppm) según nivel de retiro de residuo.....	26
11. Nitratos a V6 (ppm) según sistema de rotación.....	27
12. Rendimiento de maíz según nitrógeno.....	28
13. Número de espigas de maíz por metro cuadrado según nitrógeno.....	29
14. Número de espigas de maíz por metro cuadrado según nivel de retiro de residuos del cultivo antecesor.....	30
15. Número de granos de maíz por espiga según nitrógeno.....	31
16. Número de granos de maíz por metro cuadrado según nitrógeno.....	32
17. Peso de mil granos de maíz según nitrógeno.....	33
18. Rendimiento según nitrógeno.....	36
19. Número de espigas por planta según nitrógeno.....	37
20. Número de granos por espiga según nitrógeno.....	38
21. Peso de mil granos según nivel de retiro de residuos.....	39
22. Peso de mil granos según nitrógeno.....	40

23. Peso de mil granos según nitrógeno y nivel de retiro de residuo.....	41
24. Rendimiento según nitrógeno.....	42
25. Peso del tallo según nitrógeno.....	43

1. INTRODUCCIÓN

En Uruguay el cultivo de soja es el de mayor importancia, seguido por maíz y por último sorgo, en cuanto al área sembrada en lo que respecta a los cultivos de verano; los cuales en la zafra 2018/2019 alcanzaron un área de 1,14 millones de hectáreas, apenas por debajo del área de la zafra anterior (MGAP. DIEA, 2019).

Como bien ya es sabido, el cultivo antecesor juega un papel preponderante sobre los rendimientos esperados y los rendimientos obtenidos del cultivo posterior. Varios son los factores que explican cómo influye el cultivo antecesor en la concreción de rendimiento del cultivo sucesor, empezando por la época de siembra, pasando por el tipo de manejo establecido, y concluyendo en la época de cosecha, así como también, la cantidad y tipo de residuos que son dejados en el suelo donde se instalará el siguiente cultivo. Esta base teórica debe ser acompañada por un correcto y adecuado manejo del cultivo antecesor y de los residuos del mismo, los cuales son claves para lograr el beneficio de mayor producción por hectárea del cultivo sucesor.

Al realizar como mecanismo de labranza la siembra directa, dicho sistema permite sembrar sobre el rastrojo minimizando la alteración del suelo, por estas cualidades este método es el más utilizado en la agricultura moderna. La interacción entre el suelo y el rastrojo ocasiona que se desencadenen sucesos relevantes para el crecimiento de los distintos cultivos, así como también actúan como barrera física alterando los intercambios de masa y energía. Afectan el balance hídrico y el balance de carbono del suelo, también afectan el balance de radiación y de energía asociado.

Los objetivos generales de este trabajo fueron, estudiar el efecto de diferentes niveles de retiro de residuos de cultivos, el efecto de sistemas de rotaciones y el efecto del agregado de nitrógeno, sobre la implantación, el rendimiento y sus componentes en los cultivos de maíz, sorgo grano y sorgo silero. Como objetivo específico se evaluaron los niveles de nitrato en suelo a V6.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. SIEMBRA DIRECTA Y RASTROJOS EN SUPERFICIE

Kumar y Goh, citados por Morón (2001), concluyen que no existe un único manejo de rastrojos que sea superior para todas las situaciones. En regiones donde existen procesos erosivos importantes, donde hay deficiencias hídricas en el ciclo de los cultivos de verano o problemas de degradación de suelos (como es el caso de Uruguay donde se han observado en los últimos 50 años deterioros importantes de los recursos naturales), puede significar que la siembra directa y la presencia de rastrojos en superficie sea el manejo indicado. El problema de mayor transmisión de enfermedades por mayores presiones de inóculo por parte del rastrojo permite concluir que una alternativa válida sea la quema o la incorporación de los mismos al suelo.

Conocer los efectos que los rastrojos producen en el suelo, así como las principales limitantes de cada sistema de producción en consideración, permite tener un adecuado manejo de los mismos. Es por esto que, mientras que en los sistemas agrícolas de siembra directa de Paraguay y Mato Grosso do Sul (Brasil) promueven sistemas donde se acumule rastrojo en superficie, en el Sur de la provincia de Buenos Aires o en el Sur de Chile procuran evitar la acumulación de rastrojos en superficie. Los rastrojos afectan propiedades y procesos físicos (temperatura del suelo, contenido de agua del suelo, erosión, etc.), químicos (carbono y nitrógeno de la materia orgánica, pH, fósforo, etc.) y biológicos (cantidad y composición de la biomasa microbiana, mineralización e inmovilización de nutrientes, etc., Morón, 2001).

Según Ernst et al., Moldenhauer, citados por Velázquez et al. (2002), es necesario implementar medidas de manejo adecuadas para que la técnica de dejar rastrojos en superficie tenga buenos resultados. En primer lugar, los residuos de cosecha de los cultivos antecesores deben lograr una buena cobertura del suelo, esto permite conservar el suelo y el contenido de agua del mismo, además cuando éstos se descomponen aumenta el contenido de materia orgánica y el nivel de nutrientes que presenta el suelo. Erenstein, citado por Velázquez et al. (2002), afirma que un suelo bajo siembra directa debe encontrarse cubierto por rastrojo en aproximadamente un 30% de su superficie total.

La tasa de descomposición del rastrojo depende de propiedades intrínsecas del mismo, de factores ambientales y de manejo. En lo que respecta a los primeros, la velocidad de dicha descomposición disminuye según el siguiente orden: azúcares y aminoácidos > proteínas > celulosa > lignina

(Siqueira y Franco, citados por Morón, 2001). Para el caso del ambiente edáfico afectan la temperatura, humedad y disponibilidad de nutrientes; y en cuanto a los factores de manejo, los principales corresponden a la cantidad de residuos presente, el tamaño de partícula que presenta y el lugar de descomposición (dentro o sobre el suelo, Brown y Dickey, citados por Ernst et al., 2002).

En términos generales se considera que 20 a 40 % del C del sustrato es transformado en C microbiano en condiciones aeróbicas. Según Morón (2001), el crecimiento y desarrollo de los microorganismos del suelo inducido por la presencia de rastrojo, implica una retención temporaria de C y otros elementos como nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, etc. La cantidad de nitrógeno necesaria por los microorganismos para la descomposición de los residuos dependerá de la cantidad de carbono ofrecido vía rastrojo, la eficiencia de conversión del C rastrojo en C microbiano y de la relación C/N de los residuos. Este nitrógeno necesario para el crecimiento, desarrollo y reproducción puede tener dos vías de origen, N que forma parte del propio rastrojo o N mineral (amonio - nitrato) constituyente de la solución del suelo. Cuando los microorganismos toman el N mineral para convertirlo en proteína microbiana el proceso se denomina inmovilización. La mineralización e inmovilización son dos procesos microbiológicos de suma importancia agronómica práctica.

2.2. EFECTO DE LA PRESENCIA DE RASTROJO EN SUPERFICIE SOBRE LAS CONDICIONES EDÁFICAS

2.2.1. Efecto sobre la temperatura, las pérdidas y eficiencia en el uso del agua

La evapotranspiración de una superficie es el proceso conjunto de la evaporación desde el suelo y la transpiración a través de las plantas. Depende de la demanda atmosférica (temperatura, humedad relativa, radiación y velocidad del viento), del agua disponible en el suelo y de las características de la cubierta vegetal (SIAR, s.f.)

La presencia de rastrojo en la superficie provoca una disminución del impacto de las gotas de lluvia, una mayor agregación y una menor tasa de evaporación de agua desde el suelo; lo que se traduce en una mayor infiltración en el perfil y menores pérdidas tanto de agua como de suelo. Esto significa un mejor balance de agua en el suelo (Ernst, May y Schmith, Álvarez y Micucci, Singh y Malhi, citados por Franzluebbbers y Stuedemann, 2008). En cuanto a la evaporación, la bibliografía revisada dice que el rastrojo en superficie influye directamente en la misma, reduciendo su tasa por consecuencia de la reducción de la temperatura, impidiendo de esta manera la difusión de vapor y actuando como punto de condensación temporario del mismo. También afecta disminuyendo la velocidad del viento en la interfase con el suelo (Greb, 1966).

Aase y Tanaka (1987) determinaron la importancia de la geometría del rastrojo, donde observaron que en las parcelas con rastrojo chato (horizontal) sobre el suelo, hay una baja contribución del viento al secado del mismo debido a que la mayor parte de la superficie de éste está cubierta, lo que disminuye su temperatura y aumenta la resistencia al movimiento del vapor. Para el caso de las parcelas con rastrojo en pie y suelo desnudo, el viento es un factor influyente en el secado del suelo ya que aumenta la turbulencia cerca de la superficie del mismo, mejorando el movimiento del vapor entre la superficie del suelo y el aire.

La humedad del suelo es una característica de suma importancia, y está muy influenciada por los sistemas de cobertura sobre la superficie del mismo. Dichas coberturas reducen el impacto de la gota de lluvia, protegiendo al suelo de la erosión hídrica. Una cobertura parcial del suelo con residuos puede afectar significativamente la dinámica de escurrimiento, disminuyendo su impacto (Findeling et al., Rees et al., citados por Mulumba y Lal, 2008).

Blevins et al., Jones et al., Lal, Moody et al., citados por Gauer et al. (1982) afirman que el rastrojo en superficie aumenta la eficiencia en el uso del agua debido principalmente a lo anteriormente mencionado, reduce la evaporación y la escorrentía superficial, aumentando la infiltración. Rusell, citado por Anchieri y Magrini (1981) agrega además que el cero laboreo tiene efecto sobre la distribución de tamaño de los poros, lo que le brindaría al suelo una mayor capacidad de acumulación de agua.

El manejo adecuado del rastrojo en superficie puede significar una mejor utilización del agua por el cultivo, en condiciones de períodos de cortos de sequía o de alta demanda de agua del mismo (Condon et al., 1995).

Según Ernst (s.f.), los suelos con cobertura de rastrojo presentan menor amplitud térmica, por lo que ganan y pierden calor más lentamente. Este efecto, para suelos de cero laboreos, depende de la cantidad y geometría de los residuos. La menor temperatura de los suelos no laboreados con rastrojo en superficie puede traer problemas en el inicio de la estación de crecimiento, condicionando la velocidad de emergencia e implantación final. Las gramíneas se ven afectadas hasta la etapa donde el punto de crecimiento pasa a ubicarse por encima del suelo, a partir de este momento (V6 para maíz y sorgo) la temperatura de referencia pasa a ser la del aire, por lo que no se esperan efectos posteriores (Ernst, s.f.).

Tomando en cuenta los efectos que causan los residuos en superficie sobre el estado hídrico y sobre la temperatura del suelo, la importancia relativa de éstos dependerá en gran medida de las condiciones climáticas de cada región. Wang et al., citados por Díaz et al. (2014) afirman que cuando el aporte hídrico

en una región es limitante, la mantención de residuos en superficie es una medida de manejo adecuada; mientras que en regiones donde la limitante climática son las bajas temperaturas al inicio de la estación de crecimiento, esta medida de manejo podría generar problemas en el crecimiento inicial de los cultivos.

2.2.2. Efecto sobre el carbono orgánico del suelo

El contenido de materia orgánica del suelo (MOS) es el indicador simple más importante para definir la calidad del suelo (Larson y Pierce, citados por Morón, 2001). Es importante tener en cuenta que el carbono orgánico del suelo (COS) no es equivalente a la MOS, sino que es uno de los principales componentes de la misma. Según Silva (2010), el COS representa entre el 45 y 62% de la MOS dependiendo del origen de los restos.

La importancia que la materia orgánica tiene para definir calidad del suelo radica en su asociación con propiedades físicas (densidad aparente, estructura, aireación y drenaje, consistencia), químicas y biológicas (actividad biológica, fuente de nutrientes, capacidad de intercambio catiónico, poder buffer, combinación con moléculas orgánicas) lo cual le confiere al mismo mayores potenciales de producción (Morón, 2001).

Cui et al., citados por Kong (2014) reportaron que la actividad y diversidad microbiana incrementó en los sistemas de retención de residuos. La variación en la composición de la comunidad bacteriana resulta de los cambios en los componentes químicos de los residuos (Bastian et al., 2009) y la competencia a través de los diversos microbios. Se ha verificado que al principio se desarrollan preferentemente grupos de bacterias no esporógenas, que utilizan los materiales orgánicos más asequibles, mono y disacáridos, aminoácidos, proteínas, etc., luego comienzan a ser sustituidos por bacterias esporógenas, las cuales pueden aprovechar compuestos más complejos por ejemplo la celulosa. Hacia el final del proceso de descomposición se observa un abundante desarrollo de actinomicetes, los cuales son capaces no solo de aprovechar compuestos estables de los restos frescos, sino también las sustancias húmicas recién formadas (Silva, 2010). Lo mismo comentan Poll et al., citados por Kong (2014).

Qin et al. (2010) demostraron que en sistemas de no laboreo con retención de residuos aumentó la actividad de las enzimas β -glucosidasa, *n*-acetyl- β -glucosaminidasa, proteasas, y ureasas en comparación con sistema de laboreo sin retención de residuos. Estos resultados se repiten en experimentos posteriores de Gao, citado por Kong (2014), donde comenta que la actividad enzimática tiene una correlación positiva con la materia orgánica del suelo y con el nitrógeno total.

Morón (2001), Ernst (2009) coinciden que en los sistemas agrícolas los rastrojos (residuos de cosecha), raíces y sus exudados constituyen las entradas de carbono al suelo. Mientras que las salidas están dadas por la mineralización de la MOS y las pérdidas por erosión. Ernst (2003), sostiene que la siembra sin laboreo aporta significativamente al control del proceso de erosión hídrica (pérdida de suelo y por ende salida de C del sistema) si se mantiene cobertura por rastrojos. Sin embargo, si esto último no sucede, igualmente la pérdida de suelo se reduce frente al laboreo convencional, aunque la estratificación de nutrientes (concentración en primeras capas del perfil) genera pérdidas mayores de estos al momento de la erosión.

2.2.3. Efecto sobre la disponibilidad de nitrógeno

El balance de nitrógeno en el suelo es el resultado de los procesos de ganancia y pérdida de este nutriente, la ganancia se corresponde con la mineralización y la nitrificación, mientras que la pérdida con la lixiviación, desnitrificación y volatilización (Perdomo y Barbazán, 1999). La presencia de rastrojo en superficie podría tener un efecto indirecto en dicho balance, a través de la modificación de la temperatura y estado hídrico del suelo.

En cuanto a la ganancia, el proceso de amonificación (pasaje de nitrógeno orgánico a amonio) se da en mayor medida cuando hay mayor humedad en el suelo, ocurriendo incluso en condiciones de anegamiento, ya que este proceso es realizado tanto por microorganismos aeróbicos como anaeróbicos. La temperatura óptima para dicho proceso se encuentra en el rango de entre 40 y 60 °C, donde disminuye con temperaturas más bajas del suelo. Otro proceso de ganancia es la nitrificación (pasaje de amonio a nitrato), el rango de humedad es más estrecho y solamente lo realizan microorganismos aeróbicos, en cuanto a la temperatura, la óptima se encuentra en torno a los 30 °C.

Dentro de los procesos de pérdida, el que toma mayor relevancia es la lixiviación, esto se debe a que la presencia de residuos provoca un aumento en la infiltración y disminuye el escurrimiento, lo que lleva a una mayor probabilidad de lavado (Perdomo y Barbazán, 1999).

Otro de los procesos afectado por la presencia de rastrojo es la inmovilización de nitrógeno por parte de los microorganismos. Kravchenko y Thelen (2007) realizando una comparación entre tres niveles de retiro de residuos (sin residuos, con residuos de raíces, con residuos de raíces y tallos en superficie), encontraron que los niveles de nitrógeno en el suelo fueron mayores en los tratamientos sin residuos. Esto se explica principalmente por una mayor temperatura del suelo en el tratamiento sin residuos, lo que provoca aumentos

en la tasa de mineralización de la materia orgánica; y por un aumento en el proceso de inmovilización, por parte de los microorganismos, debido a la alta relación de C/N presente en el rastrojo de trigo.

2.3. EFECTO DE LA PRESENCIA DE RASTROJO EN SUPERFICIE SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

2.3.1. Germinación, implantación y crecimiento

Se constató mediante la bibliografía revisada, que los efectos causales del rastrojo en superficie sobre el crecimiento de los cultivos, es provocado por la modificación en temperatura y humedad del suelo. En cuanto a la temperatura, Kumar y Goh (2000), encontraron que, en climas templados, tanto el calentamiento del suelo, la germinación, como la emergencia pueden verse retrasados en sistemas con altos niveles de residuos en superficie, lo que podría afectar potencialmente el crecimiento y rendimiento de los cultivos. La causa de dicho efecto es debido a una reducción de la temperatura del suelo en donde se ubican las semillas.

Todas las prácticas de manejo que impliquen dejar rastrojo en superficie reducen significativamente la temperatura del suelo (Van Doren y Allmaras, Gupta et al., citados por Fortín y Pierce, 1991). Esta reducción en la temperatura produce disminuciones en la tasa de división celular en el ápice meristemático, lo cual afecta mientras el mismo se encuentra debajo de la superficie, finalizando cuando se da la completa expansión de la sexta hoja (gramíneas, Fortín y Pierce, 1991).

Wicks et al. (1994) afirman que en un experimento donde se evaluaron cinco niveles de retiro de residuos, el porcentaje de humedad en granos de maíz aumentó cuanto mayor eran los niveles de residuo en superficie del cultivo de trigo antecesor; esto se tradujo en retrasos en la maduración del cultivo de maíz. En relación con esto, para siembras en suelos sin rastrojo en superficie, una ventaja clara sería la cosecha más temprana y con menor humedad en grano.

Según la bibliografía consultada, elevadas cantidades de rastrojo pueden afectar la emergencia e implantación del cultivo de sorgo. Ernst (s.f.) señala que la menor temperatura del suelo cubierto por rastrojo al inicio de la estación de crecimiento condiciona la velocidad de emergencia e implantación final, por lo que sería de esperar que mayores cantidades de rastrojo en superficie, perjudiquen la implantación del cultivo.

La presencia de rastrojo induce a reducciones en la relación rojo/rojo lejano (Oreja y de la Fuente, 2012), lo que provoca cambios en las respuestas

fotomorfogénicas, como consecuencia de la baja proporción de fitocromo rojo lejano (pfr.). Tanto para gramíneas como para dicotiledóneas la baja concentración de pfr. promueve el crecimiento en longitud de las vainas foliares, es por esto por lo que es frecuente observar dominancia apical en sistemas con residuo en superficie, con la consecuente reducción en la producción de ramificaciones. Las hojas o los vástagos toman posiciones más erectas, favoreciendo la colocación de las hojas a mayor altura dentro del dosel vegetal y la menor producción de hojas a partir de ramificaciones basales, lo que disminuye la probabilidad de que el área foliar quede intensamente sombreada (Casal, 2008).

2.3.2. Rendimiento

Batchelder y Jones, Hoefler et al., Lal, Phillips et al., Whitfield, citados por Wicks et al. (1994) afirman que, en zonas semiárida, la presencia de rastrojo durante la estación de crecimiento del cultivo de maíz puede aumentar los rendimientos de éste cultivo mediante la conservación de la humedad del suelo. Se determinó que la humedad del grano de cosecha, mazorcas por planta y el peso de los granos, aumentó al incrementarse los niveles de residuo sobre la superficie (Wicks et al., 1994).

En un experimento en el Sur de Nebraska se constató que el rendimiento de sorgo fue 9, 10 y 11% mayor con niveles de presencia de rastrojo en superficie de 2, 4 y 8 Mg ha⁻¹ respectivamente, con respecto al testigo sin rastrojo (Unger, citado por Wicks et al., 1994). Hoefler et al., citados por Wicks et al. (1994) indicaron en otro experimento que un cultivo de maíz cubierto con rastrojo de trigo rindió 17% más que un maíz al cual se le retiró el rastrojo de trigo al momento de la siembra.

Unger (1978) comparó diferentes niveles de cobertura de suelo con paja de trigo (0, 1, 2, 4, 8, 12 Mg ha⁻¹), donde encontró que los rendimientos del cultivo de sorgo fueron mayores para el tratamiento con una cobertura de 12 Mg ha⁻¹ de paja de trigo. Sin embargo, los beneficios obtenidos con este nivel de residuo no son significativamente distintos en comparación con aquellos obtenidos con 8 Mg ha⁻¹ (p 0.05). Los rendimientos obtenidos para estos dos niveles fueron de casi el doble en comparación con el rendimiento del testigo sin cobertura, y significativamente mayores comparando con los niveles de 1, 2 y 4 Mg ha⁻¹ de paja de trigo. Según el autor, estos incrementos en rendimiento a medida que se aumentan los niveles de rastrojo en superficie se justifican por una mayor cantidad de agua en el suelo debido a mayor infiltración (por menor escurrimiento) y menor evaporación durante la estación de crecimiento.

Las hipótesis planteadas fueron, que no se esperarían diferencias en implantación según los distintos niveles de retiro de residuos ni según la rotación. Se esperarían rendimientos mayores en aquellos tratamientos con mayor contenido de residuos en superficie, debido a una mayor acumulación de agua en el suelo. Se esperarían mayores rendimientos en los tratamientos con agregado de nitrógeno debido a mayor número y peso de mil granos. Se esperarían menores rendimientos en la rotación que contiene sorgo silero, por la mayor extracción de biomasa asociada a este cultivo. Por último, se esperaría que el contenido de nitratos en suelo (V6) sea menor en los tratamientos con mayor contenido de residuos en superficie y también en la rotación que contiene sorgo grano (frente a la rotación con sorgo silero), debido a menor mineralización y mayores pérdidas por lixiviación e inmovilización.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO

Las actividades a campo del ensayo experimental del presente trabajo de tesis fueron llevadas a cabo en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni, Facultad de Agronomía, la cual está ubicada en el departamento de Paysandú - Uruguay, sobre la ruta nacional No. 3, km 363. El experimento se realizó en el potrero 31 cuyas coordenadas son 32° 22' 45" de latitud Sur y a 58° 03' 45" de longitud Oeste, a una altitud que se encuentra en el rango de 47 a 48 metros sobre el nivel del mar.

Según la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay (MAP. DSF, 1979), el tipo de suelo predominante de la zona en donde se encontraba instalado el ensayo es del tipo brunosol éutrico típico limo-arcilloso, correspondiente a la unidad "San Manuel" dentro de la formación Fray Bentos, el cual presenta una variación de profundidad que va desde mínimos de 50 cm hasta máximos de 80 cm.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

3.2.1. Aspectos tecnológicos y logísticos de la instalación del ensayo

El ensayo fue realizado entre los meses octubre y mayo del año 2018 y 2019 respectivamente, en dicha zafra se desarrolló la etapa correspondiente a los cultivos de maíz, sorgo grano y sorgo silero; donde se realizaron los diferentes muestreos, mediciones y evaluaciones para determinar el efecto de los diferentes tratamientos (porcentaje de retiro de residuos del cultivo antecesor, sistema de rotación y/o agregado de nitrógeno) en el rendimiento de los diferentes cultivos.

La siembra del cultivo de maíz se realizó el 16 de octubre, con un espaciado entre hileras de 0,5 metros y una densidad de siembra de 4 semillas por metro lineal buscando una población objetivo de 7.5 plantas por metro cuadrado. La variedad utilizada fue un híbrido DS 507PW.

El día de la siembra se aplicó herbicida de amplio espectro (glifosato) con el fin de controlar malezas. Dicha aplicación se realizó a razón de 3 l ha⁻¹ de producto comercial de herbicida.

Respecto a la fertilización, al momento de la siembra, según los niveles de P se aplicó 100 kg ha⁻¹ de fosfato de amonio (18-46/46-0). La fertilización nitrogenada se realizó en V6 aplicando 100 kg de urea (46/0/0) en la mitad de las hileras de las parcelas.

La siembra del cultivo sorgo grano se realizó el 1 de diciembre a una distancia entre hileras de 0,5 metros y una densidad de 40 semillas por metro cuadrado buscando una población objetivo de 30 plantas por metro cuadrado. La variedad utilizada fue híbrido MS 106.

Se aplicó herbicida de amplio espectro (glifosato) al momento de la siembra, aplicando 3 l ha⁻¹ de producto comercial.

Se fertilizó a la siembra con 100 kg ha⁻¹ de fosfato de amonio (18-46/46-0) y a V6 se aplicó 100 kg ha⁻¹ de urea en la mitad de las parcelas.

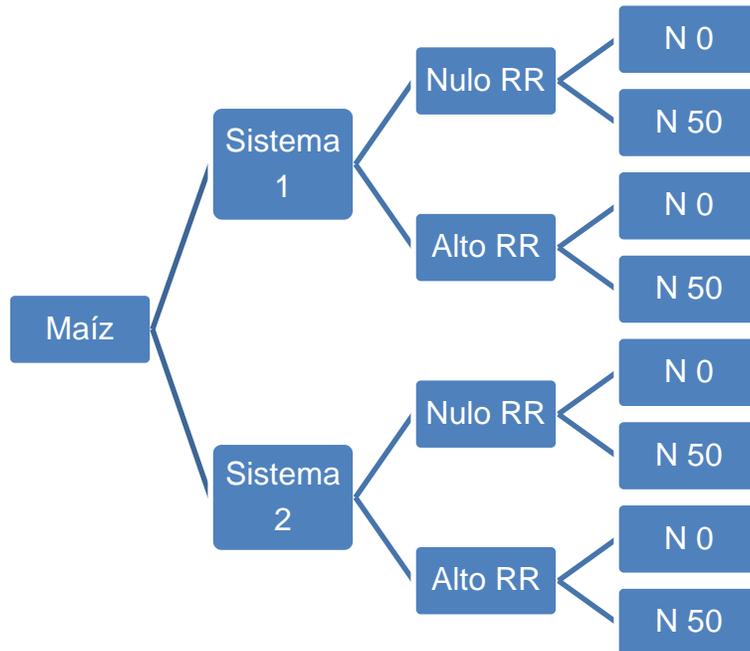
La siembra del cultivo sorgo silero, tanto para el de primera como para el de segunda, se realizó el 20 de noviembre a una distancia entre hileras de 0,5 m y una densidad de 10 kg ha⁻¹ buscando una población objetivo de 16 plantas por metro cuadrado. La variedad utilizada fue Candy máx.

En el día de la siembra se aplicó glifosato para controlar malezas presentes al momento. Dicha aplicación se realizó a razón de 3 l ha⁻¹.

La fertilización a la siembra fue de 100 kg ha⁻¹ de fosfato de amonio (18-46/46-0) y 100 kg ha⁻¹ de urea en V6 en la mitad de las parcelas.

3.2.2. Definición de los tratamientos

En el caso del maíz se evaluaron tres efectos: rotación, nivel de retiro de residuos y nitrógeno.



El sistema de rotación 1 correspondió a trigo/sorgo grano – barbecho/maíz
 El sistema de rotación 2 correspondió a trigo/sorgo silero – barbecho/maíz
 RR corresponde a retiro de residuos.

Figura No. 1. Tratamientos aplicados al maíz

Los niveles de retiro de residuos fueron los siguientes:

- Nulo: altura de cosecha convencional
- Alto: plataforma de cosecha a nivel del suelo (3-10 cm) + pasaje de rastrillo

Las dosis de nitrógeno fueron 0 y 50 kg de N agregadas en V6.

Para el sorgo granífero se evaluó el efecto de dos niveles de retiro de residuos y el efecto de dos dosis de nitrógeno (Figura No. 2).

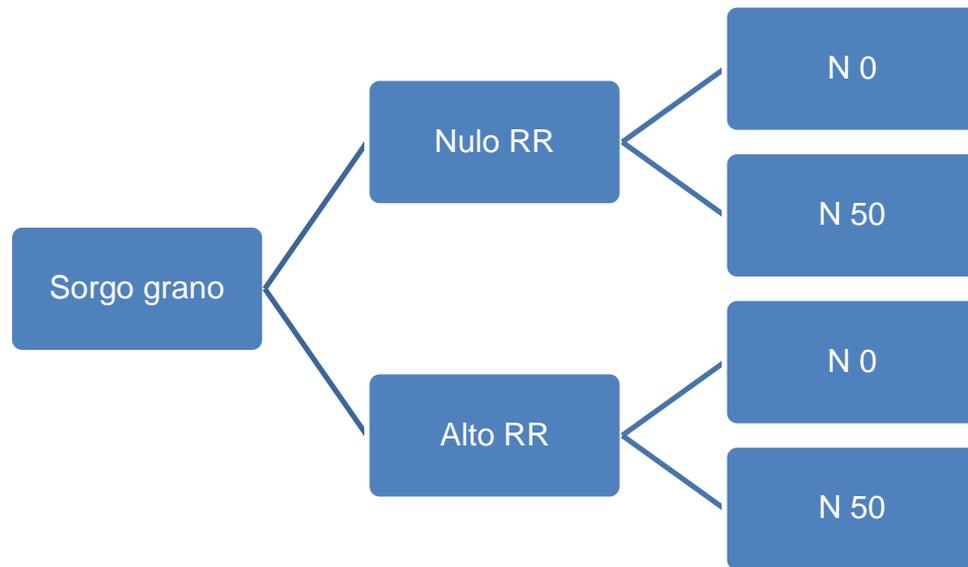


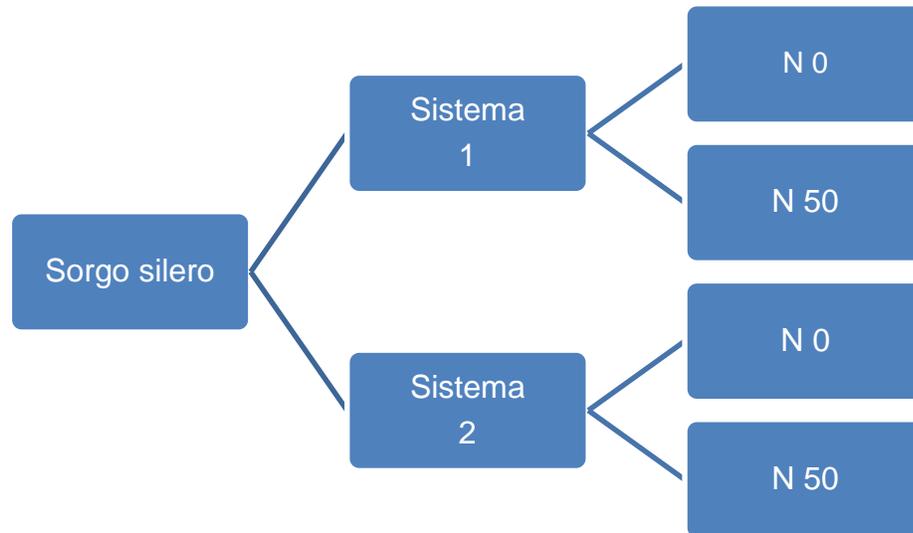
Figura No. 2. Tratamientos aplicados al sorgo grano

Los niveles de retiro de residuos fueron los siguientes:

- Nulo: altura de cosecha convencional
- Alto: plataforma de cosecha a nivel del suelo (3-10 cm) +pasaje de rastrillo

Las dosis de nitrógeno fueron 0 y 50 kg de N.

En cuanto al sorgo silero se evaluó el efecto de tres rotaciones y el efecto de dos dosis de nitrógeno.



El sistema de rotación 1 corresponde a barbecho/maíz – trigo/sorgo silero.
 El sistema de rotación 2 corresponde a barbecho/sorgo silero – barbecho/sorgo silero.
 Las dosis de nitrógeno fueron 0 y 50 kg de N agregadas en V6.

Figura No. 3. Tratamientos aplicados al sorgo forrajero

3.2.3 Variables evaluadas

Para maíz, las variables evaluadas fueron implantación, nitratos en suelo a V6, rendimiento y sus componentes (espigas por metro cuadrado, granos por espiga, granos por metro cuadrado, peso de mil granos).

En el cultivo de sorgo granífero, se evaluaron las variables implantación, nitratos en suelo a V6, rendimiento y sus componentes (panojas por metro cuadrado, panoja por planta, granos por panoja, granos por metro cuadrado, peso de mil granos).

En cuanto al sorgo silero, se midió implantación, nitratos en suelo a V6, peso de diez tallos, rendimiento en kg ms ha^{-1} .

3.2.4. Procesamiento de los datos

Para el maíz el modelo fue el correspondiente a un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar, con un factorial de 2x2.

Modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_l + A_i + \delta_{il} + B_j + (AB)_{ij} + C_k + (ABC)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

- $i=1,2$ (sistema de rotación)
- $j=1,2$ (nivel de retiro de residuo)
- $k=1,2$ (nitrógeno)
- $l=1,2,3$ (bloque)
- δ_{il} Vs A_i s ID $N(0; \sigma^2 \epsilon_a)$ condiciones de parcela grande
- ϵ_{ijkl} Vs A_i s ID $N(0; \sigma^2 \epsilon_b)$ condiciones de parcela chica

Supuestos al modelo:

- Es correcto (en relación al material experimental)
- Bloques y factores “aditivos”
- No existe interacción bloque por tratamiento

Supuestos a los errores experimentales:

- Son variables aleatorias
- $\epsilon_{ij} \sim N$
- $E(\epsilon_{ij}) = 0$ para todo i, j
- $V(\epsilon_{ij}) = \sigma^2$ para todo i, j
- Son independientes

Para el análisis de los datos, se establecieron cuatro tratamientos, correspondientes a las cuatro combinaciones de las rotaciones y niveles de retiro probados. En base a esto, se hizo un análisis de varianza y prueba de comparaciones múltiples (Tukey) al 10% de significancia, para verificar la existencia de diferencias significativas en todas las variables estudiadas. Luego mediante contrastes ortogonales, se analizaron los efectos principales (rotación y retiro) y el efecto de la interacción entre los anteriores. Para ambos cultivos se estudiaron las correlaciones entre las variables de respuesta.

Para el cultivo de sorgo el modelo utilizado fue el correspondiente a un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar.

Modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + A_i + \delta_{ik} + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

- $i=1,2$ (nivel de retiro de residuo)
- $j=1,2$ (nitrógeno)
- $k=1,2,3$ (bloque)
- δ_{ik} Vs As I s ID $N(0; \sigma^2 \epsilon_a)$ condiciones de parcela grande
- ϵ_{ijk} Vs As I s ID $N(0; \sigma^2 \epsilon_b)$ condiciones de parcela chica

Supuestos al modelo:

- Es correcto (en relación al material experimental)
- Es aditivo
- No existe interacción bloque por tratamiento

Supuestos a los errores experimentales:

- Son variables aleatorias
- $\epsilon_{ij} \sim N$
- $E(\epsilon_{ij}) = 0$ para todo i, j
- $V(\epsilon_{ij}) = \sigma^2$ para todo i, j
- Son independientes

Se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparaciones múltiples (Tukey) al 10%, para verificar la existencia de diferencias significativas en las variables estudiadas. Luego se realizaron contrastes ortogonales, agrupando los efectos de retirar residuos y comparándolos con el efecto de no retiro.

Para el cultivo de sorgo silero el modelo utilizado fue el correspondiente a un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar.

Modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + A_i + \delta_{ik} + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

- $i=1,2$ (sistema de rotación)
- $j=1,2$ (nitrógeno)
- $k=1,2,3$ (bloque)
- δ_{ik} Vs As I s ID $N(0; \sigma^2 \epsilon_a)$ condiciones de parcela grande
- ϵ_{ijk} Vs As I s ID $N(0; \sigma^2 \epsilon_b)$ condiciones de parcela chica

Supuestos al modelo:

- Es correcto (en relación al material experimental)
- Es aditivo
- No existe interacción bloque por tratamiento

Supuestos a los errores experimentales:

- Son variables aleatorias
- $\epsilon_{ij} \sim N$
- $E(\epsilon_{ij}) = 0$ para todo i, j
- $V(\epsilon_{ij}) = \sigma^2$ para todo i, j
- Son independientes

3.2.5. Mediciones realizadas

3.2.5.1. Durante el cultivo

Implantación

Para medir implantación se contaron las plantas emergidas en 20 metros lineales de las dos hileras centrales en todas las parcelas de los diferentes cultivos.

Muestreo de nitratos en el suelo

Cuando las gramíneas (maíz, sorgo grano y sorgo dulce) alcanzaron el estado fenológico V6, se tomaron 10 muestras al azar por parcela de los primeros 20 centímetros de suelo, las cuales se mezclaron en la misma bolsa y se desagregaron. Este muestreo se realizó mediante caladores. Posteriormente se efectuó el análisis de dichas muestras con el objetivo de evaluar contenido de nitratos.

3.2.5.2. Cosecha y post cosecha

El número y tipos de funciones realizadas al momento de cosecha de los cultivos dependieron de la especie en cuestión. De esta manera, se procedió a la cosecha de 8 metros lineales de los surcos centrales de cada unidad experimental, buscando de esta manera disminuir el error experimental.

En el maíz y el sorgo granífero durante la cosecha se tomó el número de plantas cosechadas y el número total de mazorca o panoja respectivamente. Post cosecha se midió el peso total de granos, como estimador de rendimiento por hectárea, luego se estimó el peso de mil granos, a través del promedio del peso de 3 muestras de 100 granos por unidad experimental. Posteriormente se midió el porcentaje de humedad de los granos al momento de la cosecha. Los rendimientos se corrigieron por humedad al 13 por ciento y para el sorgo también por daño de pájaros, estimándose un 50 por ciento de pérdidas.

Con respecto al sorgo silero se pesó el total de plantas de 8 metro lineales y se contó el número de tallos. Luego se midió el peso de 10 tallos de cada muestra; y por último se realizó el porcentaje de humedad tomando una muestra representativa y en base a la diferencia entre peso fresco y peso seco se obtuvo el resultado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE EL PERÍODO DEL CULTIVO

La Figura No. 5 muestra las temperaturas medias para el período experimental. A modo de comparación se utiliza una serie histórica de datos para la variable. Los datos fueron obtenidos de la estación meteorológica ubicada en la EEMAC.

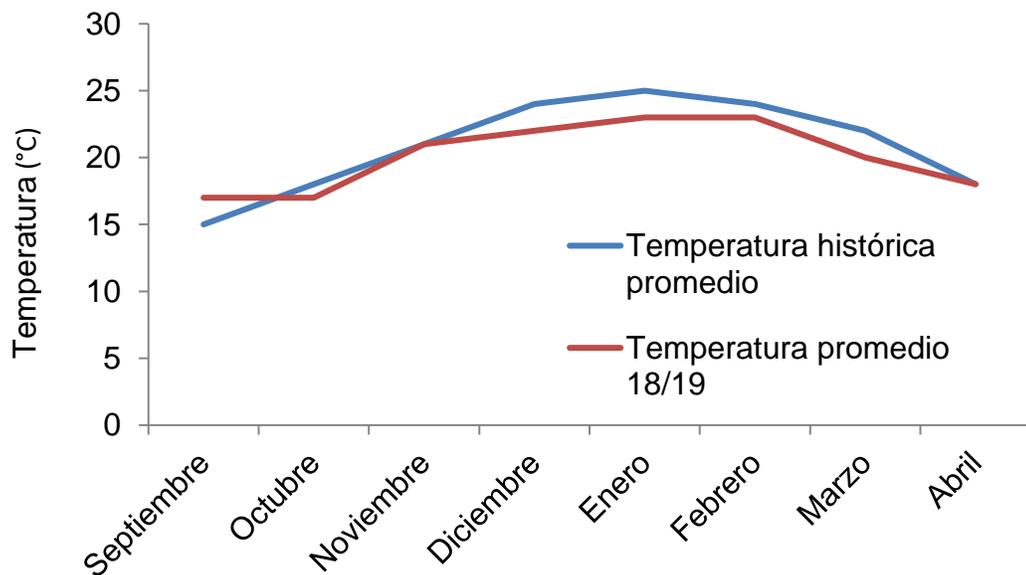


Figura No. 4. Temperaturas promedio mensuales registradas durante 2018-2019, comparadas con una serie histórica (1961-2000)

Se observa en la figura como la temperatura durante todo el experimento fue menor en prácticamente la totalidad de los meses a excepción de septiembre, sin embargo, la magnitud de dichas diferencias no es tan grande como para afectar los procesos fisiológicos de los cultivos.

Las precipitaciones ocurridas en el período evaluado y al igual que con la temperatura se compara con una serie de datos históricos. Los datos fueron

obtenidos de la estación meteorológica de la EEMAC.

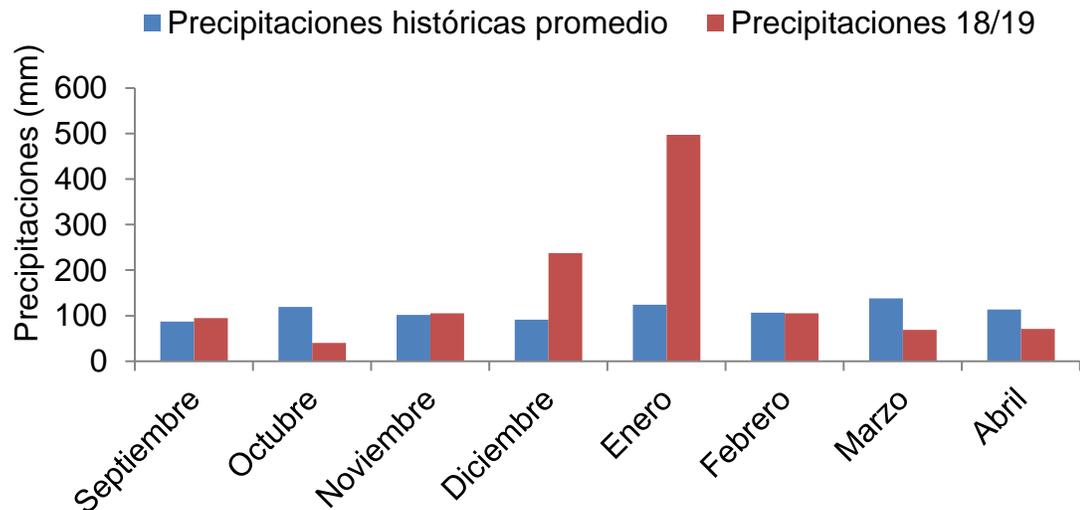


Figura No. 5. Precipitaciones promedio mensuales registradas en 2018-2019, comparadas con una serie histórica (1961-2000)

Como se observa en la figura las precipitaciones acumuladas de los meses evaluados fueron superiores en un 38%, 882 mm para el promedio histórico y 1219 mm para 18/19. Si bien la disponibilidad hídrica del período analizado fue buena, la distribución no fue homogénea, ocurriendo déficit en el mes de octubre y excesos en los meses de diciembre y enero. Es probable que este déficit haya perjudicado a las etapas iniciales de los cultivos, pero no la generación de rendimiento, debido a las abundantes lluvias de verano.

En la figura No. 6 se muestran los períodos críticos de maíz

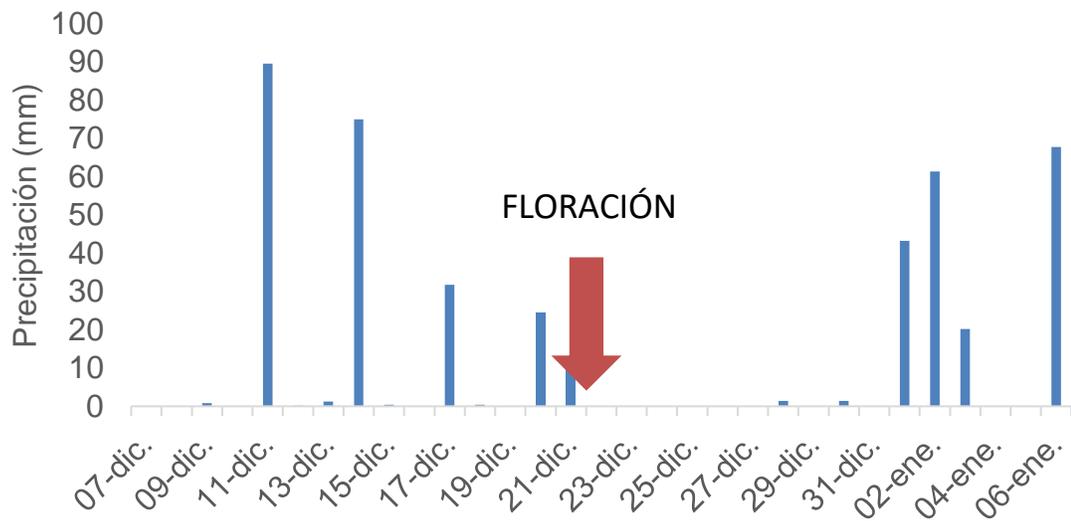


Figura No. 6. Período crítico para maíz

Para el cultivo maíz las precipitaciones fueron muy favorables, ya que el período crítico ocurrió entre el 7 de diciembre y el 6 de enero. Pevio al inicio de este período las lluvias fueron de 231 mm lo cual implica que el perfil se encontraba lleno al inicio del mismo. Durante los siguientes 30 días la acumulación de lluvias fue de 387 mm, lo que indica que el rendimiento del maíz no fue condicionado por el agua. Sin embargo, los rendimientos del ensayo fueron bajos respecto a los potenciales que presenta el cultivo, explicado en gran medida por el poco agregado de nitrógeno que tuvo el maíz, únicamente 68 unidades de N en todo el período del cultivo siendo esto una limitante clara para la generación y concreción de rendimiento.

4.2. MAÍZ

En maíz se evaluaron tres tipos de efectos, los mismos fueron los siguientes, nivel de retiro de residuos del cultivo antecesor, nitrógeno y rotación.

Cuadro No. 1. Probabilidad de las variables determinantes del rendimiento para maíz

Maíz	Pl. m ²	Nitrato V6	Rend.	Esp. m ²	Esp. pl ⁻¹	Gran. esp ⁻¹	Gran. m ²	PMG
RR (p)	0.02		ns	0.01	ns	ns	ns	ns
ROT (p)	ns		ns	ns	0.06	ns	ns	ns
N (p)	0.02	ns	0.003	0.06	0.03	0.03	0.04	0.005
N x RR (p)	ns	ns	ns	ns	0.03	ns	ns	ns
N x ROT (p)	0.08	ns	ns	ns	0.08	ns	ns	ns
RR x ROT (p)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N x RR x ROT (p)	ns	ns	ns	ns	0.08	ns	ns	ns

Se utilizó una significancia de 0.10 de probabilidad.

En el cuadro se puede observar que tanto el sistema de rotación como el nivel de retiro de residuos no tienen efecto significativo en el rendimiento. Sin embargo, cuando se comparan los contrastes nulos vs. alto retiro de residuos existe una tendencia al aumento en las variables plantas por metro cuadrado y espigas por metro cuadrado cuanto mayor cantidad de rastrojo es retirado. Esto puede deberse al efecto que causa el rastrojo en superficie sobre la temperatura y humedad del suelo, en cuanto a la temperatura, se encontró que, en climas templados, el calentamiento del suelo, la germinación y la emergencia pueden verse retrasados en sistemas con altos niveles de residuos en superficie (Schneider y Gupta, Hayhoe et al., Darby y Yeoman, Burgess et al., Swanson y Wilhelm, citados por Kumar y Goh, 2000). En cuanto al nitrógeno se puede observar que, para el rendimiento y sus componentes hay efecto significativo con un claro aumento para todas las variables con el agregado de 50 unidades de nitrógeno.

En la siguiente figura se observan los valores de número de plantas por metro cuadrado según nivel de nitrógeno.

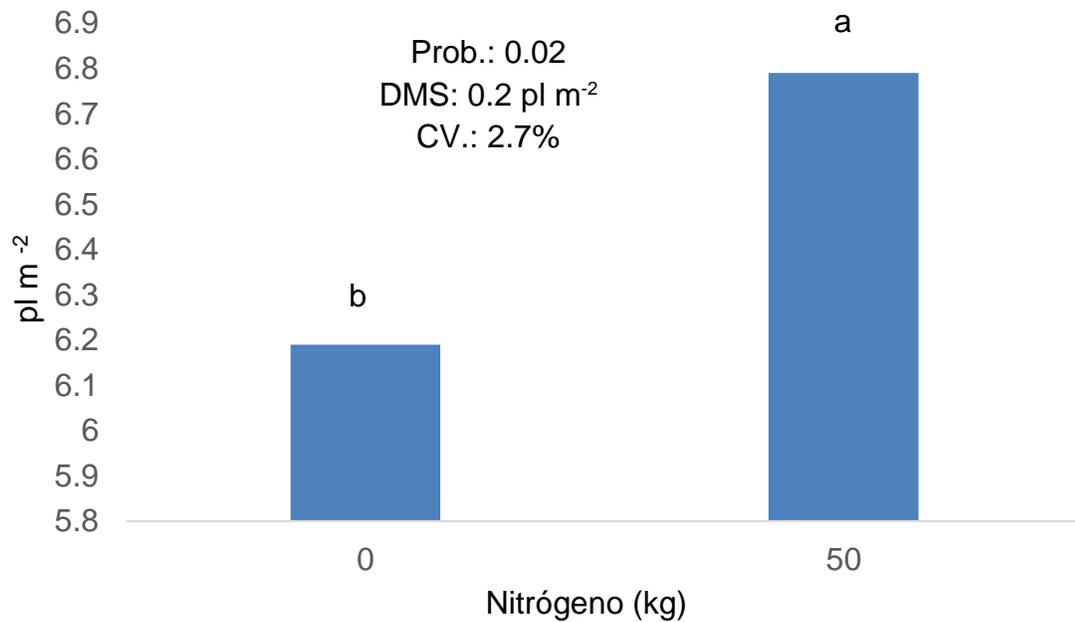


Figura No. 7. Implantación de maíz según nitrógeno

En el caso del nitrógeno se encontró una diferencia significativa de población de 0.5 pl m⁻² a favor del agregado de 50 unidades de N en V6. Si bien existen diferencias significativas entre los tratamientos, ésta no se explica por el agregado de 50 unidades de N debido a que la aplicación se realizó en V6 cuando el cultivo ya se encuentra implantado.

La siguiente figura revela el efecto del retiro de residuos del cultivo antecesor en la población.

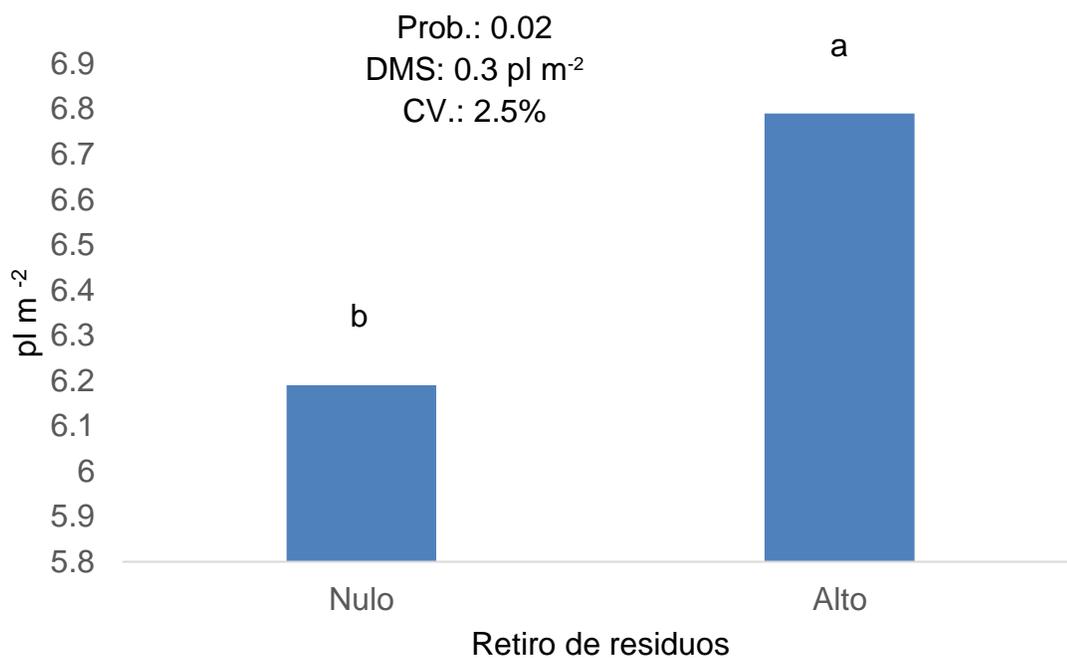


Figura No. 8. Implantación de maíz según los niveles nulo y alto retiro de residuos del cultivo antecesor

Se observa que se encuentran diferencias que son significativas, donde la población fue mayor para el caso de alto retiro de residuos con 6.79 pl m⁻².

A continuación, se muestra la interacción entre sistema de rotación y nitrógeno frente al número de plantas por metro cuadrado.

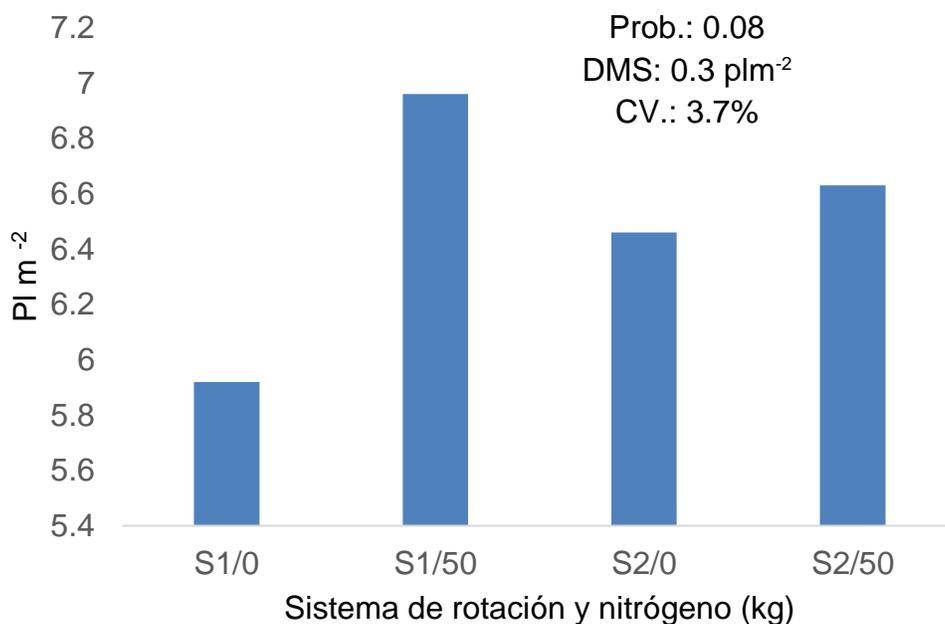


Figura No. 9. Número de plantas por metro cuadrado según sistema de rotación y nitrógeno

En un experimento realizado por Blumenthal et al. (2003), no encontraron interacción entre N por densidad de plantas al evaluar cinco poblaciones de maíz (1.73, 2.72, 3.71, 4.69 y 5.68 pl m⁻²) con cinco dosis de N (0, 34, 67, 101 y 134 kg ha⁻¹). Caviglia et al. (2010), llegaron a los mismos resultados que los autores antes mencionados, donde evaluaron dos dosis de N (0 y 200 kg ha⁻¹) a distintas densidades de población (4 a 4.5, 7.5 y 9 a 10 pl m⁻² baja, media y alta respectivamente) no se encontró interacción N por densidad de plantas. Para el caso del presente ensayo la Figura No. 9 no refleja lo mismo, donde como ya fue mencionado anteriormente, hay una diferencia de 0.46 pl m⁻², la cual es significativa estadísticamente explicado debido a que el agregado de N se realizó en V6.

Todas las parcelas que presentan el cultivo de maíz fueron sembradas sobre un suelo en barbecho donde no se realizó cultivo de invierno. No obstante, es de esperar que las parcelas con nulo retiro de residuos presenten mayores niveles de rastrojo en superficie en comparación con las de alto retiro.

Como ya fue mencionado en la revisión bibliográfica, la presencia de rastrojo provoca menores temperaturas y mayor humedad en el suelo. Kravchenko y Thelen (2007) encontraron que con mayores niveles de residuos de trigo se obtuvieron menores números de plantas de maíz por metro cuadrado, y explican que esto fuera dado por las menores temperaturas que retrasaron la

emergencia. Sin embargo, esto no fue confirmado en el presente experimento, donde posiblemente la temperatura no haya sido una limitante para la germinación e implantación del cultivo.

4.2.1. Efecto del nivel de retiro de residuos sobre el contenido de nitratos en suelo a V6

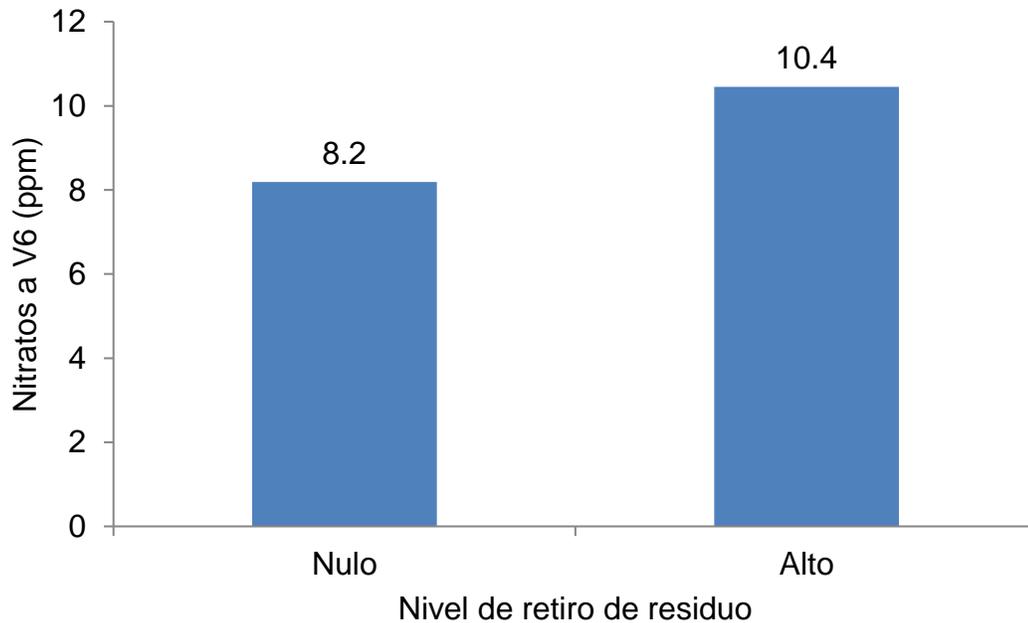


Figura No. 10. Nitratos a V6 (ppm) según nivel de retiro de residuo

Según la bibliografía revisada, a mayores niveles de residuos en superficie es esperable encontrar menores niveles de nitratos en suelo. Según Kravchenko y Thelen (2007), lo anterior puede deberse a dos factores: en primer lugar, debido a la mayor temperatura en los suelos sin residuos en superficie, que aumenta la mineralización de la materia orgánica. En segundo lugar, por la inmovilización de nitrógeno por los microorganismos, debido a la alta relación carbono/nitrógeno del residuo de trigo. Perdomo y Barbazán (1999) coinciden con los autores mencionados anteriormente, en que al disminuir la temperatura se reduce la mineralización, dado a que esta posee temperaturas óptimas de 40-60°C para la amonificación y 30°C para la nitrificación. A su vez, estos autores agregan que, con elevados niveles de residuos en superficie, aumenta la infiltración de agua en comparación con la cantidad que escurre, lo que podría provocar pérdidas de nitratos por lixiviación, representando otro motivo por el cual los nitratos deberían ser menores en suelos con altas coberturas por residuos.

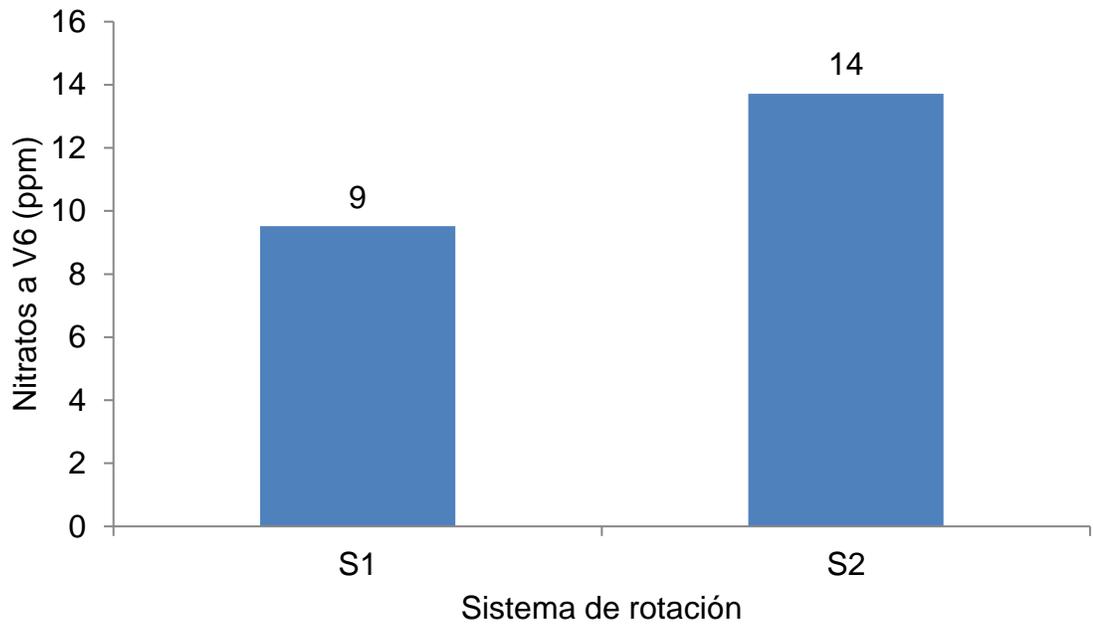


Figura No. 11. Nitratos a V6 (ppm) según sistema de rotación

Como se explicó anteriormente cuánto mayor cantidad de rastrojo en superficie menores son los niveles de nitratos en el suelo, por lo tanto, para el sistema de rotación 2 que incluye sorgo silero, los niveles de residuos que quedan en la superficie son mínimos debido a que se extrae prácticamente la totalidad del cultivo.

4.2.2. Efecto de la interacción entre retiro de residuos, nitrógeno y rotación sobre el rendimiento

El gráfico siguiente muestra el rendimiento por hectárea según nitrógeno.

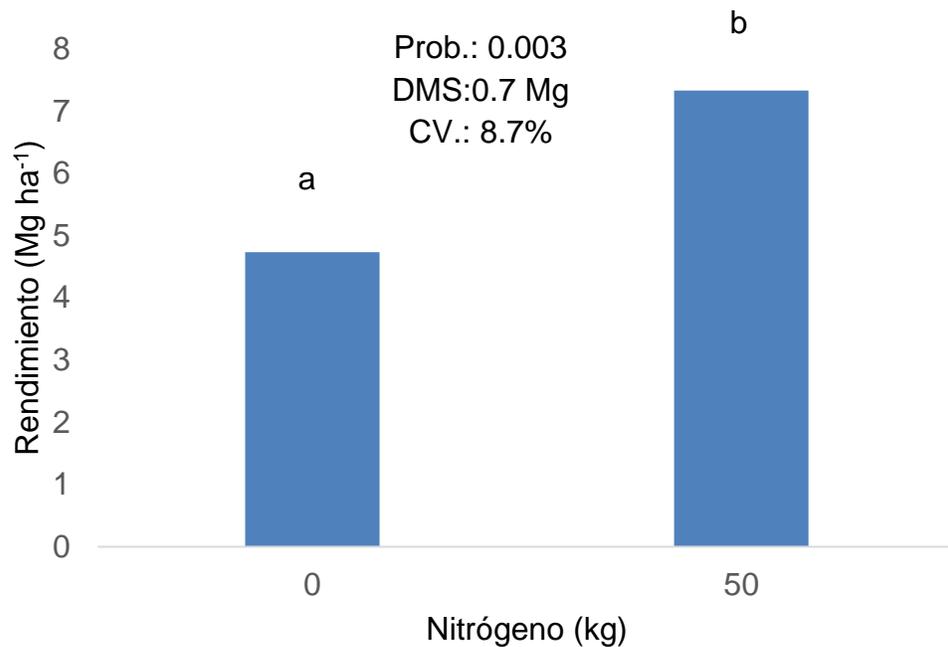


Figura No. 12. Rendimiento de maíz según nitrógeno

Bien es sabido que en el cultivo de maíz el nitrógeno es uno de los nutrientes más limitantes junto con el fósforo. En un experimento realizado por Masino et al. (2011) donde se utilizaron dosis crecientes de nitrógeno hasta 160 kg ha⁻¹, desde un testigo sin fertilizar (0, 40, 80, 120, 160 kg ha⁻¹), se encontró que todos los tratamientos presentaron diferencias con respecto al testigo y el rendimiento se fue incrementando a medida que las dosis de N aumentaron. Esto fue explicado por el efecto del nitrógeno en los diferentes componentes del rendimiento.

En el presente experimento se nota claramente como el rendimiento de maíz aumenta significativamente cuando se le agregan 50 unidades de nitrógeno, sin importar de qué rotación se trate, ya sea de un maíz que rota con sorgo grano o con sorgo silero, ni de qué nivel de retiro de residuo haya tenido.

4.2.3. Efecto del nivel de retiro de residuos, nitrógeno y rotación sobre las espigas por metro cuadrado

En cuanto a esta variable, no se hallaron diferencias considerables en el número de espigas por metro cuadrado para el efecto y rotación, ni tampoco se halló interacción entre los efectos.

El siguiente gráfico hace alusión al número de espigas por metro cuadrado según nivel de fertilización.

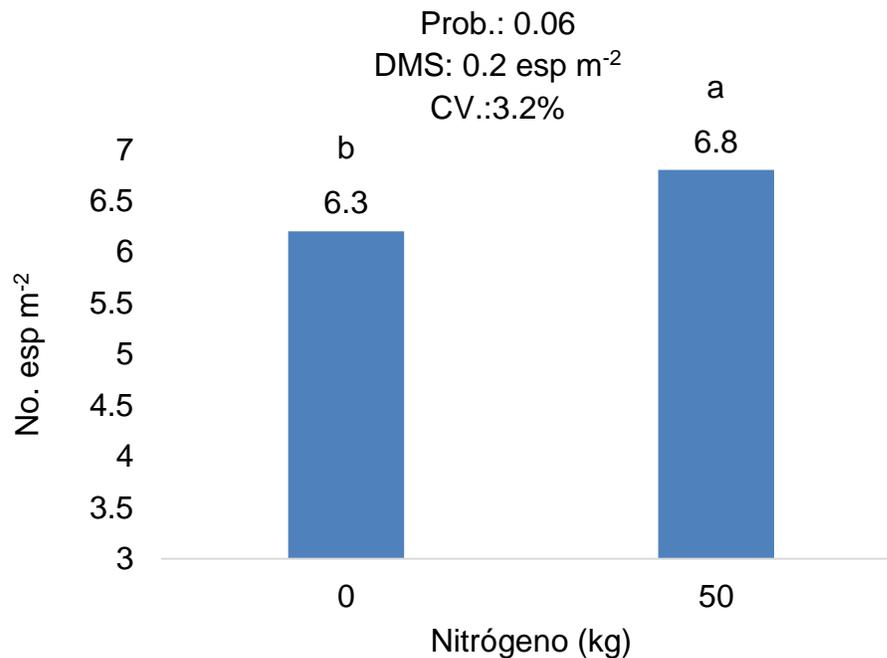


Figura No.13. Número de espigas de maíz por metro cuadrado según nitrógeno

Según la bibliografía revisada las espigas por planta y los granos por espiga son las variables más afectadas cuando existen deficiencias de nitrógeno.

Se exponen los valores promedios de número de espigas por metro cuadrado según nulo y alto nivel de retiro de residuos del cultivo antecesor (Figura No. 14).

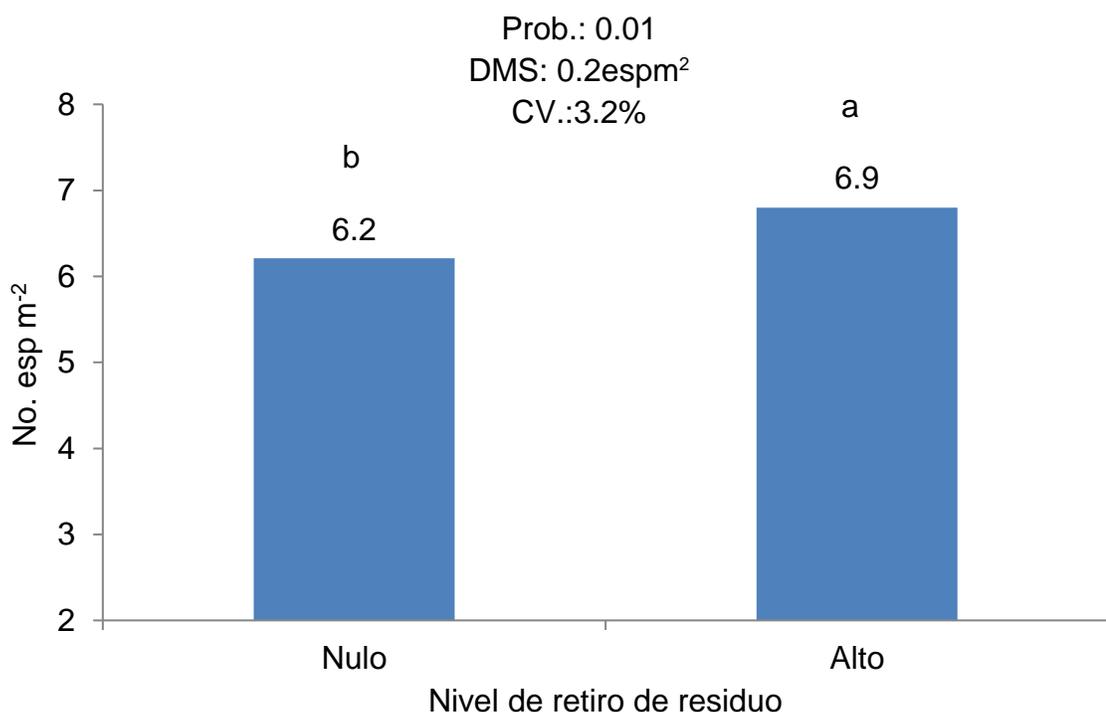


Figura No. 14. Número de espigas de maíz por metro cuadrado según nivel de retiro de residuos del cultivo antecesor

La cantidad de rastrojo en superficie afecta al número de espigas por metro cuadrado, esto ocurre debido a que el nivel de retiro de residuos afecta la implantación como fue explicado anteriormente, por lo que se refleja en que a mayor cantidad de rastrojo menor número de espigas por metro cuadrado.

4.2.4. Efecto del nivel de retiro de residuos, nitrógeno y rotación sobre las espigas por planta

La siguiente variable tuvo cambios significativos con las variables rotación y nitrógeno y también con las interacciones, nitrógeno por rotación, nitrógeno por retiro de residuos y nitrógeno por rotación por retiro de residuos. Sin embargo, el valor de DMS es muy pequeño por lo que no tiene peso en el rendimiento del cultivo.

4.2.5. Efecto del nivel de retiro de residuos, nitrógeno y rotación sobre los granos por espiga

En el gráfico siguiente se describe la variable granos por espiga según fertilización.

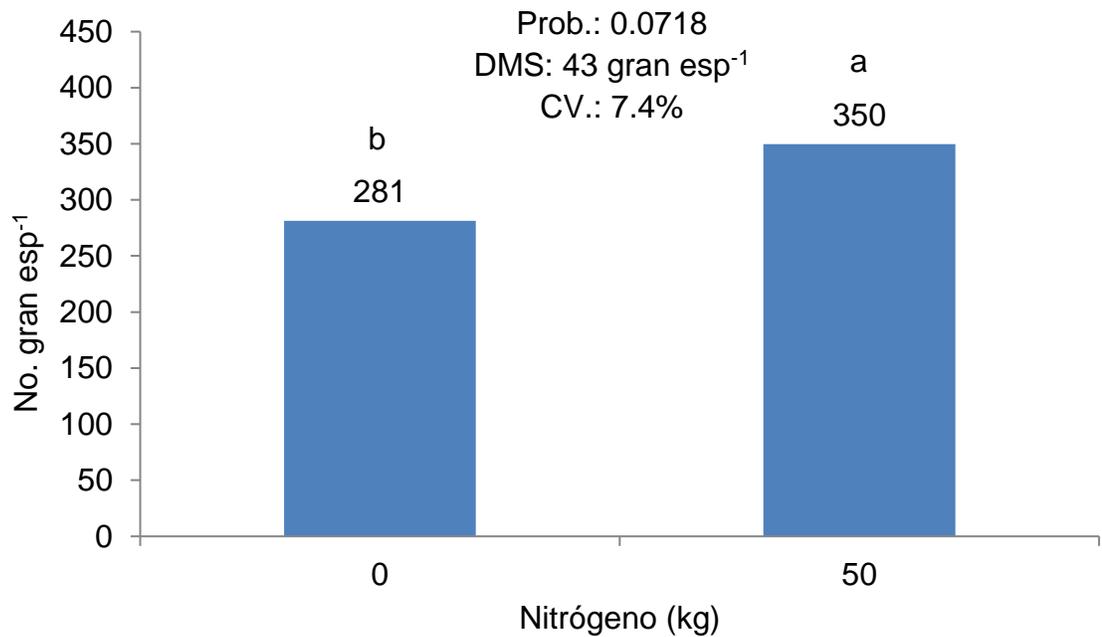


Figura No. 15. Número de granos de maíz por espiga según nitrógeno

El estrés de N no afecta la morfogénesis de las estructuras reproductivas (número de granos potenciales) y puede disminuir las espigas por planta, los granos fijados por espiga y el peso de los mismos (Uhart y Echeverría, 1998).

Dentro de los componentes del NG, las espigas por planta y los granos por espiga son los más afectados. La mayor parte de la pérdida de granos se debe a fallas en la fertilización y/o incrementos en el aborto de granos. La reducción del número potencial de óvulos por espiga producida por el estrés de N osciló entre el 1 y 8% mientras que la pérdida de granos por espiga debido a fallas en la fertilización más aborto variaron entre 32 y 38% para los tratamientos no estresados y entre 38 y 82% para los tratamientos estresados (Uhart y Andrade, 1995).

4.2.6. Efecto del nivel de retiro de residuos, nitrógeno y rotación sobre los granos por metro cuadrado

La rotación no mostró efectos significativos estadísticamente sobre la variable granos por metro cuadrado, tampoco hubo interacción entre el efecto rotación y el efecto nitrógeno.

En la siguiente figura se muestra la variable granos por metros cuadrado según fertilización.

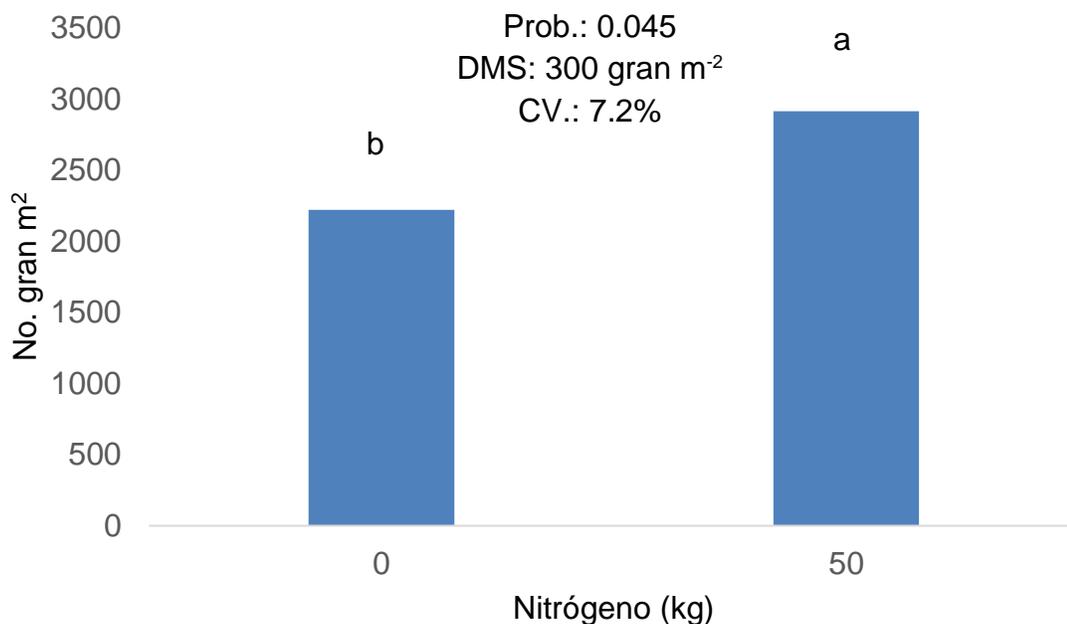


Figura No. 16. Número de granos de maíz por metro cuadrado según nitrógeno

Uhart y Echeverría (1998) indicaron que la determinación del número de granos está asociada con la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) alrededor del momento de floración, la que a su vez puede ser modificada por la disponibilidad de N. Las deficiencias de N pueden reducir la TCC durante el periodo comprendido entre 15 días prefloración y 15 días post floración, lapso durante el cual se determina el número de gran m². Sin embargo, las deficiencias de N que disminuyen la TCC entre emergencia y 15 días prefloración, pero con una recuperación total de dicha tasa durante la floración, no afectan el número de gran m² ni el rendimiento.

4.2.7. Efecto del nivel de retiro de residuos, nitrógeno y rotación sobre el peso de mil granos

No hay diferencia estadísticamente significativa para la variable peso de mil granos debido a los efectos retiro de residuos y rotación, tampoco existe interacción entre efectos.

En el gráfico que sigue se revela el efecto nitrógeno sobre el peso de mil granos.

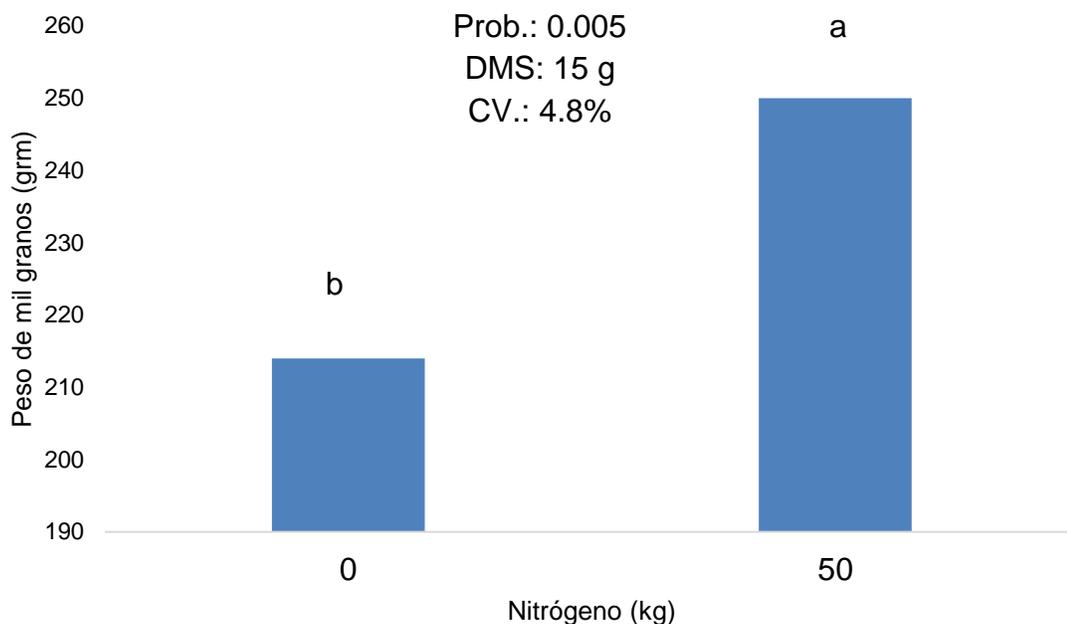


Figura No. 17. Peso de mil granos de maíz según nitrógeno

El aumento en rendimiento del maíz por agregado de nitrógeno es explicado por los diferentes componentes del rendimiento. Para el componente espigas por metro cuadrado, se observa claramente que aumenta 0.6 unidades más con el agregado de 50 unidades de nitrógeno, esto fue manifestado en un experimento realizado por Oliveira et al. (2005) quienes detectaron incrementos significativos en la mayoría de los genotipos en cuanto a la prolificidad de los mismos al incrementar las dosis de N aplicadas.

Las deficiencias en nitrógeno afectan el número de granos por espiga y por ende el rendimiento del cultivo. Estas deficiencias provocan una reducción de la tasa de crecimiento del cultivo y consecuentemente una disminución en la partición de asimilados a la espiga (Andrade et al., 1996). Biscaro et al. (2011) demostraron mediante un trabajo de investigación que utilizando distintas dosis de nitrógeno (0, 90, 180 y 360 kg ha⁻¹) se modificó el rendimiento del maíz, incrementándose a medida que aumentó la dosis. Este resultado se explica por un aumento en el número de granos (NG) por hilera, es decir un mayor NG por espiga y un aumento en el peso de mil granos. Se ve claramente reflejado en el presente experimento, el menor número de granos por espiga, menor número de granos por metro cuadrado y el menor peso de mil granos, demostrando claramente la importancia del nitrógeno en dichos componentes de rendimiento.

4.2.8. Efecto del nivel de retiro de residuos, nitrógeno y rotación sobre la humedad

No hubo diferencias estadísticamente considerables para la variable humedad con ninguno de los efectos. Tampoco se encontró existencia de interacción entre el efecto rotación y nitrógeno.

4.3. SORGO GRANO

Como se mencionó en la sección de materiales y métodos, el factor evaluado en el cultivo de sorgo fue el nivel de retiro de residuos de trigo y el factor nitrógeno.

Cuadro No. 2. Probabilidad de las variables determinantes del rendimiento en sorgo grano

Sorgo grano	PI m ⁻²	Rendimiento	Pan m ⁻²	Pan pl ⁻¹	Gran pan ⁻¹	Gran m ⁻²	PMG
Nivel de retiro (p)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.096
Nitróg. (p)	ns	0.004	ns	0.05	0.003	0.003	0.04
Inter. (p)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.03

Se utilizó una significancia de 0.10 de probabilidad.

Como se evidencia en el cuadro el nivel de retiro de residuos no tuvo efectos significativos en ninguna de las variables a excepción del peso de mil granos, explicado principalmente por el contenido de agua en suelo al momento del llenado. Sin embargo, el nitrógeno afectó el rendimiento debido al aumento en los componentes panojas por planta, granos por panoja, granos m⁻² y peso de mil granos tras el agregado de N. La interacción entre los efectos no tuvo significancia para ninguna de las variables a excepción en el componente peso de mil granos.

4.3.1. Efecto del nivel de retiro de residuos y nitrógeno sobre la implantación

Las diferencias obtenidas para la variable plantas por metro cuadrado no manifestaron diferencias estadísticamente significativas, ni tampoco existió interacción entre efectos.

Sin embargo, en la bibliografía consultada hay evidencia de que grandes cantidades de rastrojo en superficie pueden afectar la emergencia e implantación en el cultivo de sorgo. El número de plantas logradas fue cercano al objetivo (25

pl m²). Esto fue logrado debido a diferentes motivos, en primero lugar, la temperatura óptima para la germinación de este cultivo se encuentra entre los 18 y 21°C, lo cual, para las condiciones climáticas de Uruguay, se alcanza aproximadamente a principios de noviembre, habiéndose sembrado el sorgo a principios de diciembre. Otro aspecto para tener en cuenta es que los máximos porcentajes de implantación ocurren con contenidos de humedad en suelo entre 40–50% de capacidad de campo, siendo más perjudiciales los excesos que los déficits (Siri, 2004). Tanto la humedad como la temperatura no fueron limitantes para la germinación e implantación. Ernst (s.f.) señala que la menor temperatura del suelo cubierto por rastrojo al inicio de la estación de crecimiento condiciona la velocidad de emergencia e implantación final, por lo que sería de esperar que mayores cantidades de residuos en superficie perjudiquen la implantación. En este experimento no se evidenciaron diferencias considerables en implantación debido a diferentes retiros de residuos del cultivo antecesor, posiblemente debido a que se trata de un cultivo de segunda por lo que fue sembrado justo después de la cosecha de trigo, no permitiendo que transcurra el tiempo necesario para que se expresen diferencias entre tratamientos.

Tampoco se evidenciaron diferencias considerables con el agregado de nitrógeno. No se encontró información acerca del efecto nitrógeno sobre la implantación del cultivo de sorgo granífero, pero al tratarse de una gramínea C4 se cree que al igual que maíz no hay interacción entre el nutriente y el número de plantas por metro cuadrado. Es importante tener en cuenta que en la bibliografía revisada se ha encontrado que no existe respuesta sobre el rendimiento a distintas poblaciones tanto para años secos (García et al. 2008, Schaffner y Sprunck 2009, Bentancor y Bentancor 2010), como para años normales (Alcoz et al. 1988, Algorta y Carcabelos 2007). Algorta y Carcabelos (2007) para un año bueno observaron que al aumentar el número de pl m² el único componente que interacciona positivamente con una mayor población es el número de panojas m². A esta variable se le resta la relación negativa de rendimiento por panoja, que está dado solamente por el número de granos por panojas. Debido a la compensación que opera entre estas variables no se observaría una modificación del rendimiento.

4.3.2. Efecto del nivel de retiro de residuos y nitrógeno sobre el rendimiento

El gráfico siguiente expresa el efecto que tiene el nitrógeno en el rendimiento.

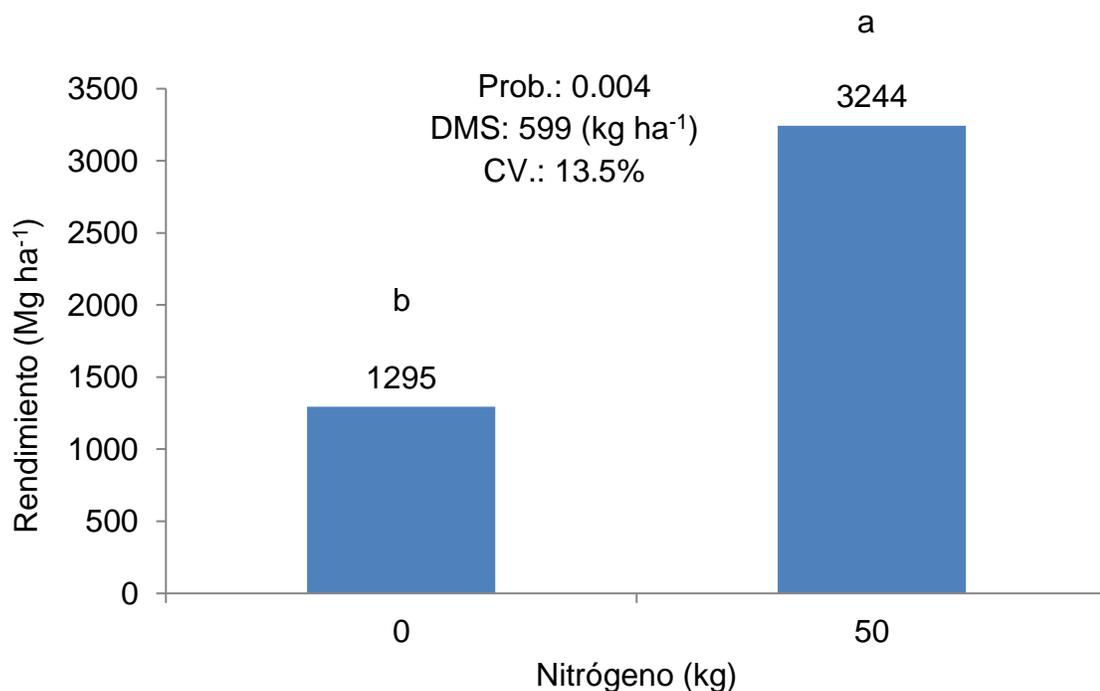


Figura No. 18. Rendimiento según nitrógeno

Hubo efecto de la fertilización sobre el rendimiento de granos y sobre los componentes: No. de granos por panoja, No. de granos m⁻² y peso de mil granos. El componente de rendimiento que más se asoció con este último fue el No. de granos m⁻².

La respuesta del sorgo a la fertilización fue muy significativa, con incrementos del rendimiento de granos del 150 % en relación con el testigo no fertilizado, demostrando la alta respuesta a la fertilización con N.

4.3.3. Efecto del nivel de retiro de residuos y nitrógeno sobre las espigas por metro cuadrado

La variable espigas por metro cuadrado no presentó diferencias significativas para ninguno de los efectos, ni tampoco existió interacción entre variables debido a que el número de panojas por metro cuadrado estuvo directamente definido por la población lograda y como se mencionó anteriormente no hubo efecto en dicha variable.

4.3.4. Efecto del nivel de retiro de residuos y nitrógeno sobre las espigas por planta

En la siguiente tabla se muestra el efecto del nitrógeno en el número de espigas por planta.

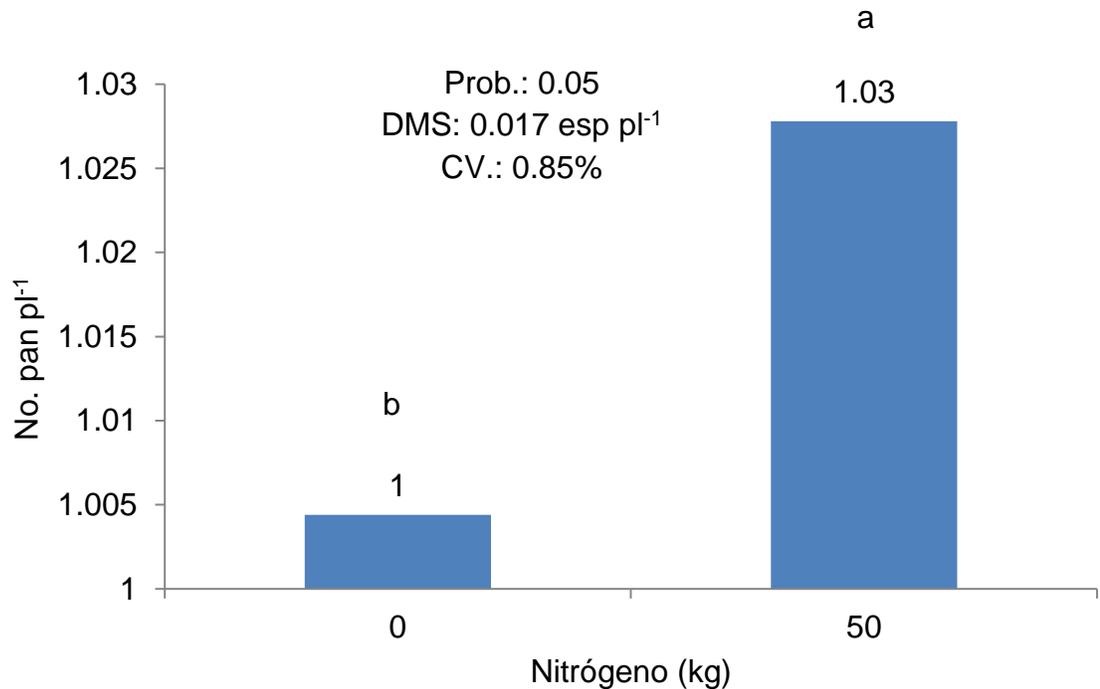


Figura No. 19. Número de espigas por planta según nitrógeno

El macollaje no solo es función de la densidad de plantas, sino que también influyen factores como la temperatura y la nutrición. La temperatura media durante la fase inicial del cultivo fue de 22°C, lo cual está por encima de la temperatura media crítica para macollaje de 18°C (Fischer y Wilson 1975, Carrasco 1985, Alcoz et al. 1988). Los tallos por unidad de superficie no tuvieron relación con la población lograda, lo que implica que el macollaje fue relativamente independiente del número de plantas logradas y positivamente afectado por el nitrógeno.

4.3.5. Efecto del nivel de retiro de residuos y nitrógeno sobre los granos por panoja

En el siguiente gráfico se muestra el efecto del nitrógeno en el número de granos por panoja.

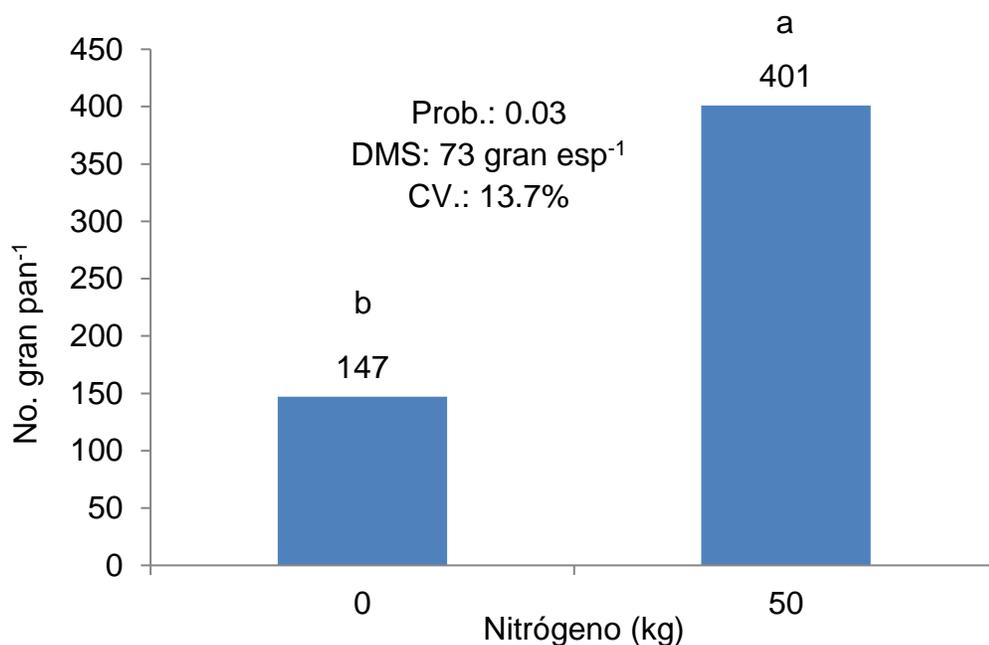


Figura No. 20. Número de granos por panoja según nitrógeno

Como se menciona anteriormente, al igual que en el cultivo de maíz, el estrés de N no afecta la morfogénesis de las estructuras reproductivas (número de granos potenciales) y puede disminuir las panojas por planta, los granos fijados por panoja y el peso de los mismos (Uhart y Echeverría, 1998).

4.3.6. Efecto del nivel de retiro de residuos y nitrógeno sobre el peso de mil granos

El gráfico siguiente muestra el efecto del nivel de retiro de residuos sobre la variable peso de mil granos.

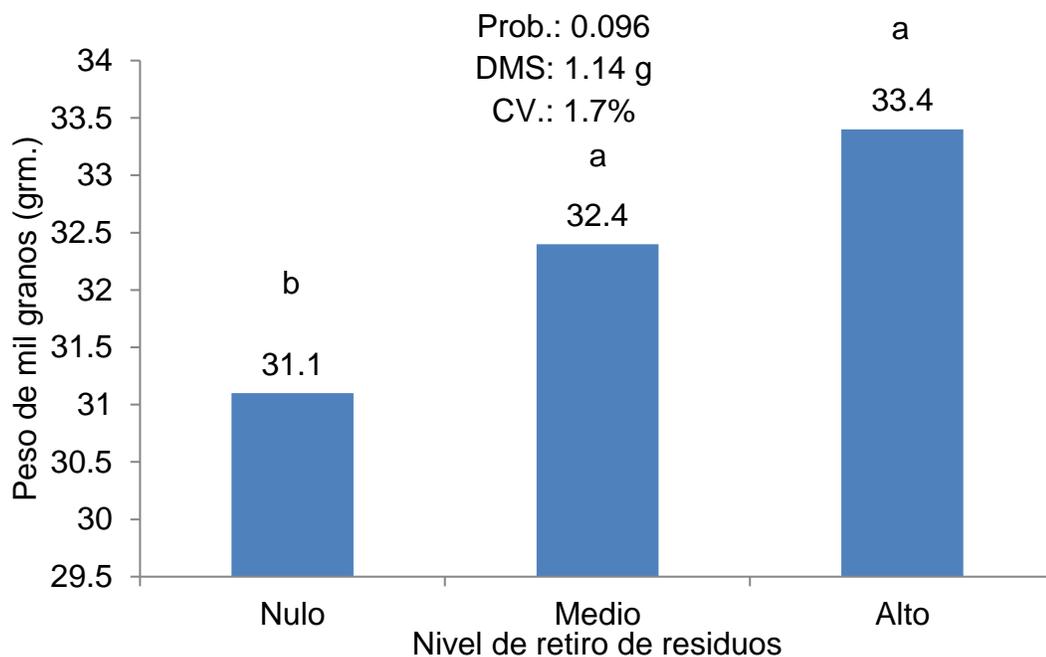


Figura No. 21. Peso de mil granos según nivel de retiro de residuos

Es posible que la mayor cantidad de rastrojo en superficie para el tratamiento de nulo retiro haya mantenido un alto contenido de agua en suelo, teniendo en cuenta que durante el llenado de grano hubo eventos de precipitación muy importantes. Esto puede haber provocado un mal llenado de grano, lo que explicaría las diferencias en peso alcanzadas.

Para el efecto nitrógeno el siguiente gráfico muestra cómo afecta en el peso de mil granos.

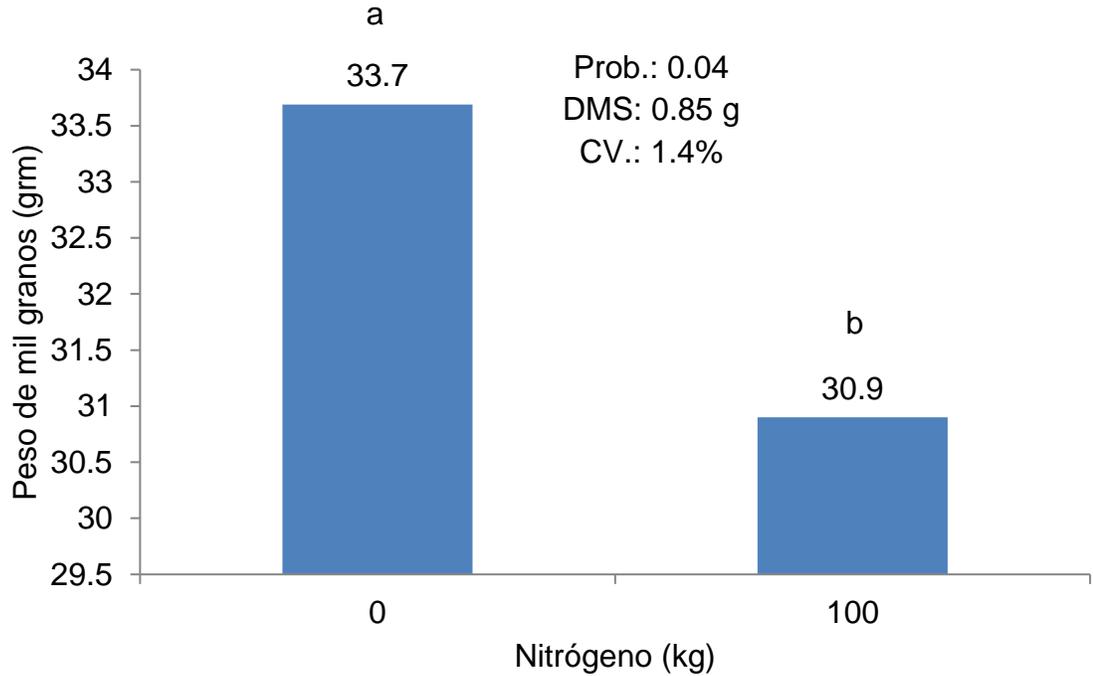


Figura No. 22. Peso de mil granos según nitrógeno

Uhart y Andrade (1995) informaron que las deficiencias de nitrógeno reducen el peso del grano cuando disminuyen más las fuentes de asimilación durante el período de llenado que el número de destinos reproductivos. Sin embargo, las deficiencias de N pueden reducir el peso del grano si afectan variables que son determinadas en post floración temprana, como el número de células endospermáticas y gránulos de almidón (Andrade et al., 1996).

La gráfica que sigue muestra la interacción entre ambas variables.

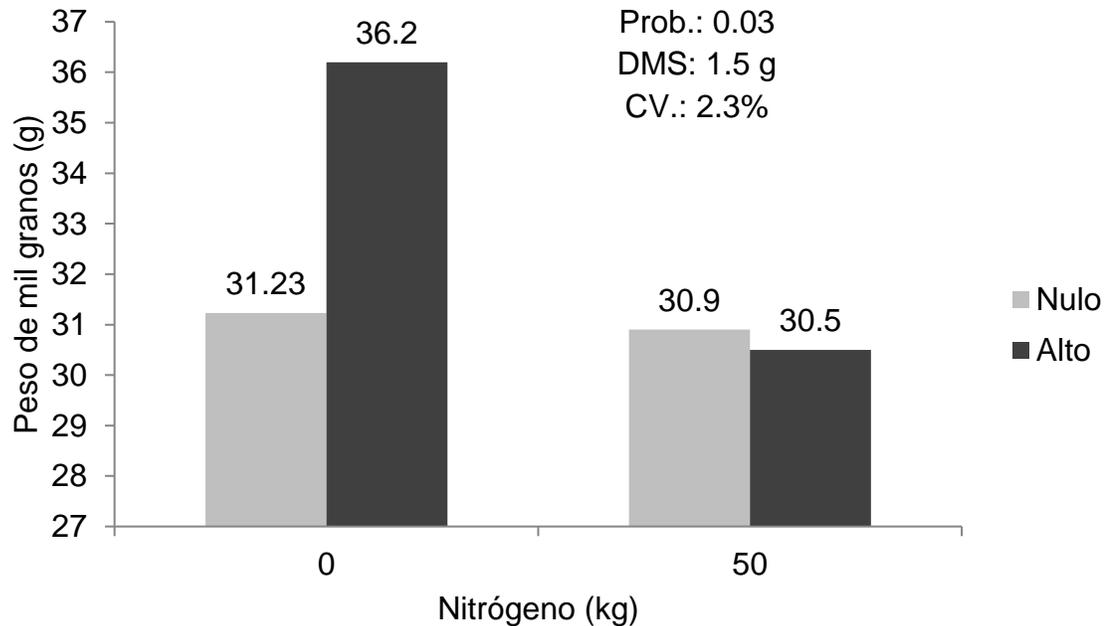


Figura No. 23. Peso de mil granos según nitrógeno y nivel de retiro de residuo

Como se muestra en la Figura No. 23, el efecto de retiro de residuo disminuye con el agregado de nitrógeno. Sin agregado de N se observa claramente que al aumentar el nivel de retiro de rastrojo aumenta el peso de grano, esto se debe a que al haber menor residuo en superficie hay menos inmovilización y por lo tanto más N disponible.

4.4. SORGO SILERO

El factor evaluado en el cultivo de sorgo silero fue sistema de rotaciones donde como ya se mencionó anteriormente son 2.

Cuadro No. 3. Tallos m⁻², peso de 10 tallos y rendimiento según sistema de rotación, nitrógeno e interacción

Sorgo forrajero	Tallos m ⁻²	Peso de 10 tallos	Rendimiento
Sistema (p)	ns	ns	ns
Nitrógeno (p)	ns	0.003	0.006
Interacción (p)	ns	ns	ns

Se utilizó una significancia de 0.10 de probabilidad.

4.4.1. Efecto del sistema de rotación y nitrógeno sobre el rendimiento

En el cuadro que sigue se revela la variación de rendimiento según fertilización.

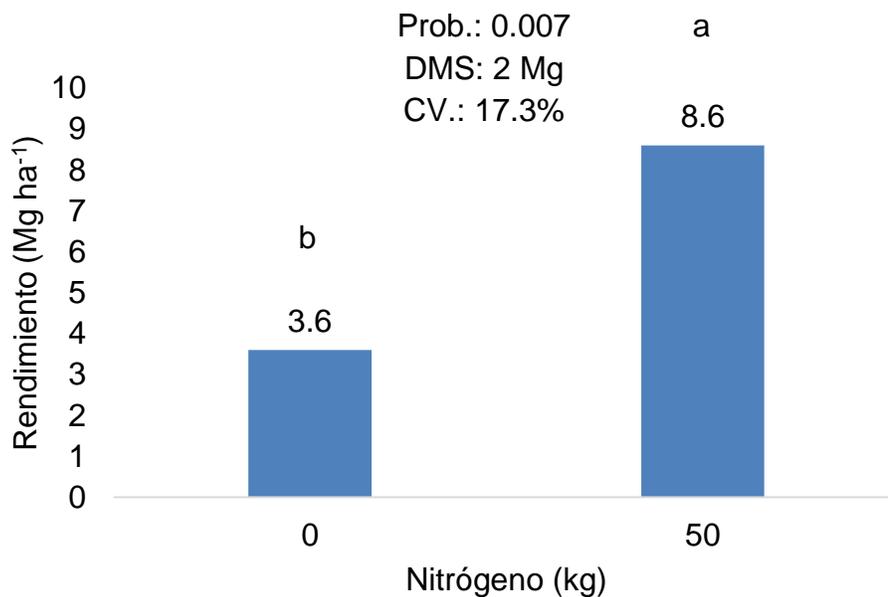


Figura No. 24. Rendimiento según nitrógeno

Como se observa en el gráfico existe respuesta en la producción de materia seca al agregado de N. La respuesta fue de 5.1 Mg pasando de 3.59 Mg sin agregado de N a 8.6 Mg con el agregado de 100 kg de urea. Sin embargo, Torrecillas y Bertoia (2008) estudiaron el efecto de momentos de aplicación y niveles de fertilización con N en tres híbridos de sorgo forrajeros en un argiudol

típico de la provincia de Buenos Aires. Con respecto a la acumulación total de forraje, encontraron que una dosis de 50 kg de N ha⁻¹ aumentó en promedio el rendimiento comparado con el testigo (8800 vs. 10500 kg MS. ha⁻¹).

El siguiente gráfico muestra el efecto del nitrógeno en el peso de 10 tallo.

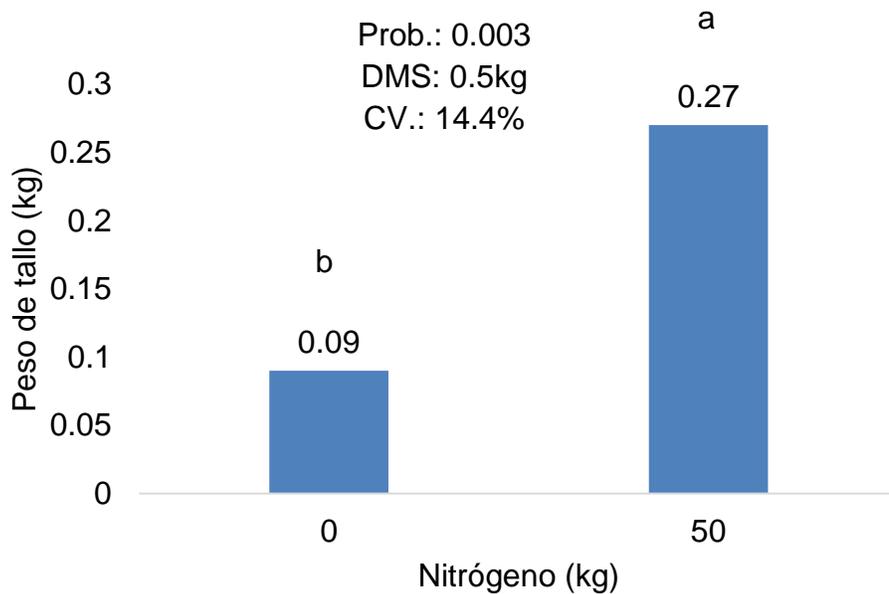


Figura No. 25. Peso de tallo según nitrógeno

Existe una notoria respuesta en peso del tallo al agregado de N, esto es debido a que, en condiciones de baja disponibilidad de N, el crecimiento del cultivo se resiente debido a una menor intercepción de la radiación incidente y en menor medida, por la reducción de la fotosíntesis (Echeverría y García, 2005). Ocurre una disminución de la división y expansión celular, por lo cual se reduce el crecimiento (Fink et al., citados por Echeverría y García, 2005).

5. CONCLUSIONES

En el cultivo de maíz no hubo efecto de retiro de rastrojo ni de sistema de rotación en rendimiento en grano. Esto pudo haber sido explicado por las altas precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo y el período crítico de éste.

El único efecto que hubo para la variable rendimiento es el agregado de nitrógeno a V6, no encontrándose interacción con los demás efectos RR y S. Este aumento en rendimiento está explicado principalmente por un 31% más en No gran m^{-2} (debido principalmente a un aumento del 25% en gran esp^{-1}) y 17% más en PMG. La respuesta al agregado de nitrógeno fue de 52 kg de grano por unidad de N.

En el sorgo granífero no hubo efecto de retiro de residuos en rendimiento en grano.

Para la variable rendimiento hubo efecto con el agregado de N a V6 y no se encontró interacción entre los efectos RR y N. El aumento en rendimiento fue explicado por un aumento del 178% de No gran m^{-2} debido principalmente a un aumento del 172% en gran pan^{-2} . La respuesta al agregado de nitrógeno fue de 39 kg de grano por unidad de N.

En el sorgo silero no hubo efecto de sistema de rotación en rendimiento.

Únicamente existió efecto con el agregado de N a V6, sin encontrarse interacción entre los efectos S y N. El mayor rendimiento se debe a un aumento del 200% en el peso de tallo. La respuesta al agregado de nitrógeno fue de 100 kg de materia seca por unidad de N.

6. RESUMEN

El cultivo antecesor juega un papel importante sobre los rendimientos esperados y los rendimientos obtenidos del cultivo posterior. Varios son los factores que explican cómo influye el cultivo antecesor en la concreción de rendimiento del cultivo sucesor, como por ejemplo la época de siembra, el tipo de manejo realizado, la época de cosecha y la cantidad y tipo de residuos que son dejados en el suelo, donde se instalará el siguiente cultivo. Por lo tanto, es importante realizar un correcto manejo del cultivo antecesor y de los residuos del mismo, los cuales son claves para lograr el beneficio de mayor producción por hectárea del cultivo sucesor. El objetivo de este trabajo fue, estudiar el efecto de diferentes niveles de retiro de residuos de cultivos, el efecto de sistemas de rotaciones y el efecto del agregado de nitrógeno, sobre la implantación, el rendimiento de maíz, sorgo y soja y sus componentes. Como objetivo específico se evaluó los niveles de nitrato en suelo a V6. El ensayo fue realizado entre los meses noviembre y abril del año 2018 y 2019 respectivamente, en Facultad de Agronomía. EEMAC (Estación Experimental “Mario A. Cassinoni”), en la localidad de Paysandú, Uruguay. En dicha zafra se determinó el efecto de los diferentes tratamientos (porcentaje de retiro de residuos del cultivo antecesor, sistema de rotación y/o agregado de nitrógeno) en la implantación, nitratos en suelo a V6, rendimiento y sus componentes para los cultivos de maíz, sorgo y soja. Tanto los niveles de retiro de residuos evaluados, como la inclusión de sorgo dulce en la rotación, no generaron diferencias significativas en ninguna de las variables evaluadas en los cultivos. Si bien no se encontraron diferencias significativas en el nivel de nitratos en suelo, se puede observar una tendencia a menores niveles de nitratos en los tratamientos con mayores cantidades de rastrojo en superficie, explicado por mayor inmovilización, lixiviación y menor mineralización. Sin embargo, sí hubo un efecto del agregado de nitrógeno aumentando de forma considerable el rendimiento y sus componentes en todos los cultivos.

Palabras clave: Soja; Maíz; Sorgo; Residuos; Nitrógeno.

7. SUMMARY

The predecessor crop plays an important role on the expected and obtained yields. There are several factors that explain how the predecessor crop influences on the yield of the successor crop, such as the time of sowing, the type of management, the time of harvest and the amount and type of residues that are left on the soil where the following crop will be planted. Therefore, it is important to manage the predecessor crop and its residues correctly, which are key to achieving a high production per hectare of the successor crop. The aim of this work was to study the effect of different levels of crop residue removal, the effect of rotation systems and the effect of nitrogen addition on the establishment and yield of maize, sorghum and soybean and their components. The specific aim was to evaluate the levels of nitrate in the soil at V6. The trial was carried out in November and April 2018 and 2019, respectively, at Faculty of Agronomy. EEMAC (Experimental Station "Mario A. Cassinoni"), in Paysandú, Uruguay. The effect of different treatments (percentage of residue removal from the previous crop, rotation system and/or nitrogen addition) on the establishment, nitrates in soil at V6, yield and its components for maize, sorghum and soybean crops was determined. Residue removal levels evaluated and the inclusion of sweet sorghum in the rotation did not generate significant differences in any of the variables evaluated in the crops. Although no significant differences were found in soil nitrate levels, a tendency to lower nitrate levels can be observed in the treatments with greater amounts of stubble on the surface, explained by greater immobilisation, leaching and lower mineralisation. However, there was an effect of the addition of nitrogen, considerably increasing the yield and its components in all crops.

Key words: Soybean; Maize; Sorghum; Residues; Nitrogen.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aase, J. K.; Tanaka, D. L. 1987. Soil water evaporation comparisons among tillage practices in the northern great plains. *Soil Science Society American Journal*. 51(2):436-440.
2. Alcoz, M. M.; Shabilco, D. B.; Sobral, L. M. 1988. Factores de manejo que afectan la productividad potencial del sorgo granífero en Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 92 p.
3. Algorta, E. J.; Carcabelos, J. 2007. Efecto de distintas distancias entre hileras, población e híbrido de sorgo granífero en siembra directa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 49 p.
4. Anchieri, C.; Magrini, A. 1981. Efecto residual de cuatro rastrojos de invierno en la producción de cultivos de verano sembrados con mínimo y cero laboreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 114 p.
5. Andrade, F. H.; Cirilo, A.; Uhart, S.; Otegui, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Balcarce, La Barrosa. 239 p.
6. Bastian, F.; Bouziri, L.; Nicolardot, B.; Ranjard, L. 2009. Impact of wheat straw decomposition on successional patterns of soil microbial community structure. *Soil Biology and Biochemistry*. 41:262-275.
7. Bentancor, E.; Bentancor, P. 2010. Respuesta a la población de dos híbridos de sorgo granífero. Zona centro. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 109 p.
8. Biscaro, G. A.; Viegas de Araujo Motomiya, A.; Ranzi, R.; Braz Vaz, M. A.; Ferreira do Prado, E. A.; Rosa Silveira, B. L. 2011. Desempenho do milho safrinha irrigado submetido a diferentes doses de nitrogênio via solo e foliar. *Agrarian*. 4(11):10-19.
9. Blumenthal, J. M.; Lyon, D. J.; Stroup, W. W. 2003. Optimal plant population and nitrogen fertility for dryland corn in western Nebraska. *Agronomy Journal*. 95(4):878-883.

10. Carrasco, P. 1985. Bases ecofisiológicas para el manejo del sorgo en el Uruguay. In: Seminario Técnico (1º., 1985, Paysandú). Trabajos presentados. s.n.t. s.p.
11. Casal, J. J. 2008. Fotomorfogenesis: la luz como factor regulador del crecimiento. In: Azcón, J.; Talón, M. eds. Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid, ES, McGraw-Hill. pp. 467-481.
12. Caviglia, O. P.; Van Opstal, N. V.; Gregorutti, V. C.; Melchiori, R. J. M. 2010. Captura y uso del agua y la radiación en maíz: efectos de la densidad de plantas y de la fertilización nitrogenada. In: Congreso Nacional de Maíz (9º., 2010, Rosario, Santa Fe, Argentina). Actas. Buenos Aires, s.e. pp. 56-57.
13. Condon, F.; Ghelfi, J.; Pons, C. 1995. Manejo de rastrojo de cebada para la siembra de girasol de segunda. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 83 p.
14. Díaz, E.; Serrentino, F.; Errandonea, J. 2014. Efecto de residuos de cosecha en una rotación trigo-sorgo-maíz sobre la implantación y rendimiento de cultivos de verano. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 64 p.
15. Echeverría, H.; García, O. 2005. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Balcarce, Argentina, INTA. 525 p.
16. Ernst, O. s.f. Siembra sin laboreo de cultivos de verano. Paysandú, Facultad de Agronomía. 18 p.
17. _____; Bentancur, O.; Borges, R. 2002. Descomposición de rastrojo de cultivos en siembra sin laboreo: trigo, maíz, soja y trigo después de maíz o de soja. *Agrociencia* (Uruguay). 6(1):20-26.
18. _____. 2003. Uruguayizando argentineses. *Cangüé*. no. 24:27-30.
19. _____. 2009. Hacia una agricultura inteligente y sostenible. *Zona Agropecuaria*. 19:27-29.
20. Fischer, K. S.; Wilson, G. L. 1975. Studies of grain production in *Sorghum bicolor* (L) Moench effect of planting density on growth and yield. *Australian Journal of Agricultural Research*. 26:31-41.

21. Fortín, M. C.; Pierce, F. J. 1991. Timing and nature of mulch retardation of corn vegetative development. *Agronomy Journal*. 83(1):258-263.
22. Franzluebbers, A. J.; Stuedemann, J. A. 2008. Soil physical responses to cattle grazing cover crops under conventional and no tillage in the Southern Piedmont. *Soil and Tillage Research*. 100(1-2):141-153.
23. García, J.; Narbaiz, J. M.; Rubio, I. 2008. Respuesta a la población de sorgo granífero de segunda en la zona centro-Oeste. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 54 p.
24. Gauer, E.; Shaykenwich, C. F.; Stobe, H. 1982. Soil temperature and soil water under zero tillage in Manitoba. *Canadian Journal of Soil Science*. 62:311-325.
25. Greb, B. W. 1966. Effect of surface-applied wheat straw on soil water losses by solar distillation. *Soil Science Society of America Journal*. 30 (6):786-788.
26. Kong, L. 2014. Maize residues, soil quality, and wheat growth in China: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 34(2):405-416.
27. Kravchenko, A. G.; Thelen, K. D. 2007. Effect of winter wheat crop residue on no-till corn growth and development. *Agronomy Journal*. 99(2):549- 555.
28. Kumar, K.; Goh, K. M. 2000. Biological nitrogen fixation, accumulation of soil nitrogen and nitrogen balance for white clover (*Trifolium repens* L.) and field pea (*Pisum sativum* L.) grown for seed. *Field Crops Research*. 68(1):49-59.
29. MAP. DSF (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes, UY). 1979. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: descripciones, datos físicos y químicos de los suelos dominantes. (en línea). Montevideo. t. 3, 2 pt. Consultado abr. 2023. Disponible en <http://www.cebra.com.uy/renare/destacado/descripcionesdatos-fisicos-y-quimicos-de-los-suelos-dominantes-de-la-carta-de-reconocimiento-de-suelosdel-uruguay/>

30. Masino, A.; Madoery, O.; Conde, B.; Puentes, A. 2011. Respuesta del cultivo de maíz a dosis crecientes de nitrógeno: campaña 2010/2011. INTA. Maíz. Informe de Actualización Técnica no. 19:93-100.
31. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2019. Anuario estadístico agropecuario 2019. Montevideo. 256 p.
32. Morón, A. 2001. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. *In*: Díaz, R. ed. Siembra directa en el cono Sur. Montevideo, PROCISUR. pp. 387-405.
33. Mulumba, L. N.; Lal, R. 2008. Mulching effects on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research*. 98(1):106-111.
34. Oliveira, L.; Ballesteiro, M.; Lea, P. J.; Antunes, R. 2005. Identification of maize lines with contrasting responses to applied nitrogen. *Journal of Plant Nutrition*. 28:903-915.
35. Oreja, F.; de la Fuente, E. 2012. Pasto cuaresma: efecto del tipo de cobertura del suelo y de la presencia del cultivo de soja sobre la presencia de plántulas. (en línea). s.n.t. 5 p. Consultado 20 oct. 2022. Disponible en http://www.aapresid.org.ar/rem/wpcontent/uploads/sites/3/2013/02/SSD12_011.pdf
36. Perdomo, C.; Barbazán, M. 1999. Nitrógeno. Montevideo, Facultad de Agronomía. 70 p.
37. Qin, S.; Hua, C.; He, X.; Dong, W.; Cui, J.; Wang, Y. 2010. Soil organic carbon, nutrients and relevant enzyme activities in particle-size fractions under conservational versus traditional agricultural management. *Applied Soil Ecology*. 45:152-159.
38. Schaffner, V.; Sprunck, M. 2009. Respuesta a la población en sorgo granífero de segunda zona Sur. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 92 p.
39. SIAR (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío, ES). s.f. Evapotranspiración. (en línea). Madrid. s.p. Consultado abr. 2023. Disponible en <https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo->

[rural/temas/gestion-sostenible-regadios/Evapotranspiraci%C3%B3n_tcm30-82951.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sergio-Adolfo-Uhart/publication/311715308_El_rol_del_nitrogeno_y_del_fosforo_en_la_produccion_de_maiz/links/585dbc0708ae329d61f69580/El-rol-del-nitrogeno-y-del-fosforo-en-la-produccion-de-maiz.pdf)

40. Silva, A. 2010. La materia orgánica del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 45 p.
41. Siri, G. 2004. Sorgo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 96 p.
42. Torrecillas, M. G.; Bertoia, L. M. 2008. Acumulación y calidad de forraje de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) con diferentes niveles de fertilización nitrogenada. Revista Argentina de Producción Animal. 28(3):201-207.
43. Uhart, S. A.; Andrade, F. H. 1995. Nitrogen deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning, y kernel set. Crop Science. 35(5):1376-1383.
44. _____; Echeverría, H. E. 1998. El rol del nitrógeno y del fósforo en la producción de maíz: diagnóstico de la fertilización nitrogenada y fosforada. (en línea). Balcarce, INTA. 48 p. Consultado mar. 2022. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Sergio-Adolfo-Uhart/publication/311715308_El_rol_del_nitrogeno_y_del_fosforo_en_la_produccion_de_maiz/links/585dbc0708ae329d61f69580/El-rol-del-nitrogeno-y-del-fosforo-en-la-produccion-de-maiz.pdf
45. Unger, P. W. 1978. Straw-mulch rate effect on soil water storage and sorghum yield. Soil Science Society of America Journal. 42(3):486-491.
46. Velázquez, J. D. J.; Salinas, J. R.; Potter, K. N.; Gallardo, M.; Caballero, F.; Díaz, P. 2002. Cantidad, cobertura y descomposición de residuos de maíz sobre el suelo. Terra Latinoamericana. 20(2):171-182.
47. Wicks, G. A.; Crutchfield, D. A.; Burnside, O. C. 1994. Influence of wheat (*Triticum aestivum*) straw mulch and Metolachlor on corn (*Zea mays*) growth and yield. Weed Science. 42 (1):141-147.