

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**Impacto del nivel de rastrojo de sorgo sobre la implantación y rendimiento del
maíz**

por
Serafin BACHINO INTROINI
Joaquín Gabriel CHARRUTE DÁVILA

Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

PAYSANDÚ
URUGUAY
2025

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dr.) Guillermo Siri Prieto

Tribunal:

Ing. Agr. (Dr.) Guillermo Siri Prieto

Ing. Agr. (Mag.) Mauricio Bustamante

Ing. Agr. (Mag.) Nicolas Fassana

Fecha:

16 de enero de 2026

Estudiante:

Serafin Bachino Introini

Joaquín Gabriel Charrute Dávila

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a nuestro tutor, Guillermo Siri, por su constante acompañamiento y orientación a lo largo de la realización de este trabajo.

Expresamos nuestro agradecimiento a nuestras familias y amigos, quienes nos brindaron apoyo incondicional durante toda nuestra formación.

Finalmente, agradecemos a los compañeros con quienes compartimos instancias de estudio y valiosos momentos a lo largo de la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	7
RESUMEN.....	8
SUMMARY	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. GERMINACIÓN E IMPLANTACIÓN DEL MAÍZ.....	11
2.2. POBLACIÓN Y DISTRIBUCIÓN	11
2.3. SIEMBRA DIRECTA	12
2.3.1 Descompactación del suelo y acumulación de agua	12
2.3.2 Siembra directa en rotaciones.....	13
2.3.3 Eliminación del laboreo.....	13
2.3.4 Beneficios de la siembra directa	13
2.4 PRECIPITACIONES E INFILTRACIÓN	14
2.4.1 Precipitaciones	14
2.4.2 Infiltración de agua en el suelo	14
2.5 RASTROJO EN EL SUELO	14
2.5.1 Composición química de los rastrojos	15
2.5.2 Rastrojo de sorgo	15
2.5.3 Temperatura del suelo con rastrojo	16
2.6 NITRÓGENO EN EL CULTIVO.....	16
2.6.1 Acumulación de nitrógeno en planta.....	16
2.6.2 Inmovilización y mineralización.....	16
2.7 RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE MAÍZ.....	17
2.7.1 Componentes ecofisiológicos del rendimiento	17
2.7.2 Periodo crítico y determinación de rendimiento	17
2.7.3 Número y peso de grano.....	18
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1 LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO	19
3.2 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO	19

	6
3.2.1 Aspectos tecnológicos y logísticos de la instalación del ensayo	19
3.2.2 Secuencias de cultivos en las rotaciones agrícolas	19
3.2.3 Definición de los tratamientos	20
3.2.4 Variables evaluadas.....	20
3.2.5 Procesamiento de los datos.....	20
3.2.5.1 Sistema 1.....	21
3.2.5.2 Sistema 2.....	21
3.2.6 Mediciones realizadas	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1 Condiciones climáticas durante el periodo de cultivo	24
4.2 Maíz.....	28
6. CONCLUSIÓN.....	39
7. BIBLIOGRAFÍA	40

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 Probabilidad y significancia estadística para nitratos medidos en distintos momentos en el sistema uno.....	28
Tabla 2 Probabilidad y significancia estadística para nitratos medidos en distintos momentos en ambos sistemas.....	28
Tabla 3 Probabilidad y significancia estadística para las variables determinantes del rendimiento de maíz en sistema uno.....	29
Tabla 4 Efecto del retiro de rastrojo sobre implantación, infiltración y nitratos del suelo en sistema uno.	30
Tabla 5 Probabilidad y significancia estadística para las variables determinantes del rendimiento de maíz en ambos sistemas.	31
Tabla 6 Efecto del retiro de rastrojo sobre implantación, infiltración y nitratos del suelo en ambos sistemas.....	32
Tabla 7 Nitratos del suelo según retiro de rastrojo y sistemas a distintas fechas de muestreo	33
Tabla 8 Rendimiento según nivel de retiro de rastrojo y dosis nitrogenada para sistema uno.....	34
Tabla 9 Rendimiento según nivel de retiro de rastrojo y dosis nitrogenada para ambos sistemas	34
 Figura 1 Temperaturas promedio mensuales registradas durante 2024-2025 comparada con la serie histórica desde 1961 a 2020.....	24
Figura 2 Precipitaciones acumuladas mensuales registradas durante 2024-2025 comparada con la serie histórica desde 1961 a 2020	25
Figura 3 Radiación solar acumulada mensual registrada durante 2024-2025 comparada con la serie histórica desde 2002 a 2020.....	26
Figura 4 Período crítico del cultivo de maíz	27
Figura 5 Rendimiento del maíz según nivel de retiro de rastrojo en ambos sistemas ..	35
Figura 6 Rendimiento del maíz según sistema y nivel de retiro de rastrojo comparando ambos sistemas	36
Figura 7 Número de granos por metro cuadrado según nivel de retiro de rastrojo para ambos sistemas	37
Figura 8 Número de granos por metro cuadrado según sistema y nivel de retiro de rastrojo.....	37

RESUMEN

En la actualidad, parte de los sistemas agrícolas aprovechan los residuos de la cosecha como subproducto. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del retiro de rastrojos de sorgo y trigo en la implantación y el efecto del agregado de nitrógeno en el rendimiento del cultivo de maíz para grano. Es importante estudiar como la interacción del agregado de nitrógeno con el retiro de rastrojo, incide en el rendimiento del maíz, evaluando este efecto sobre dos sistemas de rotación. El ensayo se llevó a cabo en la zafra 2024-2025, en la EEMAC, Facultad de Agronomía, en el departamento de Paysandú, Uruguay. Los dos sistemas de rotación evaluados tienen una duración de dos años, siendo trigo-sorgo grano-maíz y trigo-sorgo silero-maíz. Se midió implantación, los nitratos en el suelo en pre siembra y durante el cultivo, la infiltración de agua en el suelo, y los componentes de rendimiento. Separando los sistemas por rotación, uno con tres niveles de retiro (0%–40%–80%; solo sistema con sorgo grano) y otro con dos niveles (0%–80%), se observó que, para el primer caso, no hubo diferencias significativas en la mayoría de las variables estudiadas. El único caso donde se detectó efecto fue en la primera muestra de infiltración realizada. Para la evaluación del retiro de 0%-80% (ambos sistemas) sí se encontraron diferencias en la mayoría de las variables analizadas. En el caso de los nitratos en el suelo, se observaron diferencias en la muestra realizada a la emergencia del cultivo presentando valores más elevados el que contenía el rastrojo en superficie; para el resto no se encontraron diferencias, aunque se vio una tendencia a que, luego de instalado el cultivo, en la medición a V7 disminuían los nitratos en el suelo en todos los tratamientos. En el análisis de infiltración se pudo ver que el contenido de rastrojo en el suelo fue de suma importancia, ya que en los tratamientos donde se dejaba la totalidad del rastrojo la infiltración mejoraba considerablemente. En rendimiento y en sus componentes se observó que, evaluando sólo el retiro de rastrojo, se obtenían mejores resultados sin rastrojo en el suelo. En cambio, cuando interactúan el sistema con el retiro de rastrojo, se mantenía el mayor rendimiento al dejar el rastrojo en superficie, pero no se presentaban diferencias significativas respecto a quitar el rastrojo en el sistema dos. En cuanto al agregado de nitrógeno, no se apreciaron diferencias en ninguno de los dos sistemas evaluados.

Palabras clave: maíz, implantación, rastrojo, nitrógeno, rendimiento

SUMMARY

In recent years, part of agricultural systems takes advantage of crop residues as by-products. The objective of this study was to evaluate the effect of different levels of sorghum and wheat residue removals on maize establishment and, the effect of nitrogen addition on grain maize yield. It is important to study how the interaction between nitrogen addition and residue removal is reflected in maize yield, evaluating this in two different rotational systems. The experiment was conducted during the 2024–2025 growing seasons, from October of the first year to April of the second, at the Faculty of Agronomy, “Mario A. Cassinoni” Experimental Station, in the department of Paysandú, Uruguay. Both evaluated systems have a two year duration, which are: wheat–grain sorghum-maize and wheat–forage sorghum-maize. Some of the variables measured were: crop establishment, soil nitrate levels at pre-sowing and during the growing season, soil water infiltration, and yield components. By separating the systems, considering rotations, into one with three residue removal levels (0%–40%–80%) and another with two levels (0%–80%), it was observed that, in the first case, there were no significant differences in most of the variables studied. The only scenario where an effect was found, was in the first infiltration measurement. When evaluating removal of 0%-80% (both systems), there were differences found in most of the measured variables. Regarding soil nitrates, differences were observed in the sample taken at crop emergence, having elevated levels the one where residue was left in the surface; no differences were found in the remaining measurements, although a trend was observed toward a decrease in soil nitrates at the V7 stage after crop establishment across all treatments. In the infiltration analysis, it was observed that residue content on the soil surface is of great importance, as treatments where all the residue was retained, showed a considerable improvement in infiltration. Regarding yield and its components, when evaluating only residue removal, superior results were obtained when residue was removed. However, when system and residue removal interacted, the highest yield was maintained when residue was left on the soil surface, although no significant differences were observed, compared to residue removal in system two. Regarding nitrogen addition, no differences were observed in either of the two evaluated systems.

Keywords: maize, establishment, residue, nitrogen, yield

1. INTRODUCCIÓN

El maíz es una gramínea anual estival de gran importancia para la agricultura uruguaya. En la zafra 2023/2024 se sembraron 220 mil ha, siendo este un récord histórico a nivel de área sembrada para este cultivo (Pizzanelli, 2024).

El nivel de rastrojo en el suelo es de gran importancia para el posterior desempeño del cultivo sembrado, teniendo consecuencia en el ciclo del cultivo desde la implantación hasta la cosecha del mismo. El buen manejo del rastrojo no es suficiente, ya que esto no garantiza la producción del maíz, este debe ser manejado correctamente en todas sus etapas para lograr buen rendimiento.

El rastrojo de sorgo es fundamental para las propiedades físicas como temperatura y estructura del suelo en conjunto con las propiedades químicas como la materia orgánica. El sorgo deja gran cantidad de materia seca en el suelo después de su cosecha, lo que ayuda a conservar el suelo durante la estación de invierno y para la posterior siembra de maíz en primavera-verano. Este rastrojo es de lenta descomposición dada su alta relación carbono/nitrógeno lo que es un factor importante en el momento de la siembra y posterior implantación del cultivo de maíz.

La implantación del cultivo de maíz es un componente que afecta su desempeño, esta puede limitar principalmente el número de plantas obtenidas en el cultivo, lo que posteriormente definirá el número de granos por superficie.

Por esta razón en este trabajo se estudia la implantación del cultivo de maíz sobre diferentes niveles de rastrojo de sorgo, en el departamento de Paysandú, Uruguay.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes niveles de rastrojo en la implantación y el efecto del agregado de nitrógeno en el rendimiento en el cultivo de maíz para grano.

Las hipótesis planteadas establecían que existirían diferencias en la implantación según el nivel de retiro de rastrojo y el tipo de rotación, esperando mayores rendimientos en los tratamientos con mayor cantidad de rastrojo en superficie debido a una mejor conservación de agua en el suelo. Se esperaban rendimientos superiores en los tratamientos con fertilización nitrogenada, explicados por un mayor número de granos y un mayor peso de mil granos. También se esperaba un menor rendimiento en la rotación que incluye sorgo silo, dado su mayor extracción de biomasa en la cosecha. Por último, se proyectaba que el contenido de nitratos en el suelo a V6 sería menor en los tratamientos con más residuos en superficie y en la rotación que contiene sorgo grano, debido a una menor mineralización y a mayores pérdidas por lixiviación e inmovilización.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. GERMINACIÓN E IMPLANTACIÓN DEL MAÍZ

Para Aldrich y Leng (1974) la germinación e implantación son etapas muy importantes en el ciclo del cultivo, ya que, si el suelo se presenta demasiado frío, húmedo o seco, posiblemente la germinación se vea enlentecida y la planta no se instale. Para estas etapas la falta de nutrientes no es fundamental, pero cuando ésta comienza a crecer, los requerimientos de elementos primarios como fósforo se vuelven fundamentales y pueden retrasar el crecimiento y desarrollo de la planta ya instalada. Este efecto no es permanente sobre el crecimiento, ya que, si se corrigen a tiempo los problemas, la planta es capaz de recuperarse.

Otegui (2023) menciona acerca de la fenología, que, con adecuada humedad edáfica, en las primeras 24 horas la semilla queda hidratada y de esta manera se inicia la germinación. El primer síntoma visible es la aparición de la radícula, luego el mesocotile se elonga y esto permite ubicar el coleoptilo próximo a la superficie. La duración de este proceso va a estar relacionado con la temperatura del suelo, pudiendo ir desde los 21 días (temperaturas entre 10-13 °C) hasta 5 días (temperaturas de 30°C).

2.2. POBLACIÓN Y DISTRIBUCIÓN

Según lo expresado en el curso Cultivos de Verano (comunicación personal, 2024) la cantidad de plantas por superficie determina los recursos con que cuenta cada una, si hay una planta por metro cuadrado, esta no va a tener limitantes de recursos y va a crecer hasta que el ambiente se lo permita. A medida que se agregan plantas por metro cuadrado, los recursos se limitan. La fisiología de cada cultivo define una población óptima, esto se da por el balance entre lo que aporta agregar plantas o lo que limita el crecimiento de las demás. Las plantas de maíz tienen baja plasticidad vegetativa, esto significa que no compensa la pérdida de plantas con nuevos tallos o ramificaciones. Esto hace que, en comparación con otros cultivos, la población sea más determinante en el aprovechamiento de los recursos.

Bonelli et al. (2023) explican que el maíz es el cultivo menos estable ante cambios de población de plantas comparándolo con otros cultivos. Cuando la población es subóptima el rendimiento cae de 13 toneladas a 6 toneladas por hectárea y cuando la densidad está por arriba del óptimo cae a 10 toneladas por hectárea. El resto de los cultivos tienen un comportamiento muy parecido entre ellos con una tendencia sutil a aumentar el rendimiento con mayores poblaciones.

También afirman que la densidad está atada al ambiente donde se encuentre el cultivo. En ambientes favorables los máximos rendimientos se dan con mayor cantidad de plantas debido a la escasa plasticidad que presenta el cultivo. Por lo contrario, cuando se cuenta con un ambiente con más limitantes de recursos, la tasa de crecimiento por planta es baja, por lo tanto, se está al límite a la hora de la partición de fotoasimilados que

irían a las estructuras reproductivas y con esto causando aborto de granos o de espigas. En estos ambientes, cuando se disminuye la población, lo que se hace es que cada planta cuenta con más recursos y crece a una mayor tasa con esto alcanza a fijar una mayor cantidad de granos.

La población objetivo para cultivos de maíz en secano es de 60.000 plantas por ha, es decir 6 plantas por metro cuadrado (Boschi, 2019).

2.3. SIEMBRA DIRECTA

Se entiende que

Es un sistema de preparación de suelo y la vegetación en el que el disturbio realizado en el suelo para la colocación de las semillas es mínimo, ubicándolas en una muy angosta cama de siembra o surco, que depende del uso de herbicidas para el control de malezas. (Dabalá, 2009, p. 10)

Este sistema consiste en la implantación de cultivos mediante la aplicación de herbicidas para el control de la vegetación existente y la utilización de una sembradora específica que deposita la semilla en el suelo con mínima alteración de su estructura. Al igual que en los sistemas de laboreo, el objetivo principal es conformar una cama de siembra adecuada, ya que de su calidad depende en gran medida el éxito del establecimiento del cultivo.

Una cama de siembra óptima asegura buen contacto entre semilla y suelo, permitiendo el aprovechamiento de la humedad y la temperatura necesarias para la germinación.

Para alcanzar estas condiciones, el manejo del suelo en siembra directa requiere seguir una secuencia técnica fundamental que incluye: la eliminación de la vegetación existente, descompactación del suelo, la acumulación de agua en el perfil y generar un adecuado nivel de nutrientes disponibles para el cultivo (Dabalá, 2009).

2.3.1 Descompactación del suelo y acumulación de agua

La descompactación de la superficie es un desafío importante cuando se habla de siembra directa. La vegetación que se encuentra debajo de la superficie, aunque no se ve tiene vida, por lo que con su crecimiento van formando agregado de suelos unidos entre sí, una vez muerta esa vegetación por la aplicación de herbicida se produce un efecto inverso que tiene como consecuencia la descompactación del mismo (Dabalá, 2009).

En cuanto a la acumulación de agua, existe un tiempo determinado permitiendo que este proceso se lleve a cabo. También como consecuencia de la muerte de la vegetación y en conjunto con la descompactación se va acumulando agua en el perfil del suelo. Según análisis de contenido de humedad, se puede afirmar que una chacra bajo siembra directa se acumula más agua que en una laboreada convencionalmente, esto explicado principalmente por mantener el suelo sin laboreo y la cobertura de restos vegetales que permiten el aumento de la infiltración de agua en el suelo (Dabalá, 2009)

2.3.2 Siembra directa en rotaciones

La siembra directa en rotación permite la diversificación de riesgos productivos, ya que las condiciones ambientales pueden perjudicar a un cultivo, pero es poco probable que afecte al resto de los cultivos presentes en la rotación (Belloso, 2002).

La alternancia espacial y temporal tiene control sobre patógenos debido a que generalmente no se comparten entre cultivos y al no encontrar al hospedante adecuado (planta para infectar) se ve interrumpido su ciclo, disminuyendo la cantidad de inóculo. Sucede lo mismo con el control de malezas e insectos, ya que no se mantiene un mismo ambiente en el que puedan perdurar y establecerse, esto debe acompañarse con buen control químico (Belloso, 2002).

El mismo autor menciona que, al rotar los cultivos se favorecen las condiciones físicas del suelo principalmente la estructura. Los sistemas radiculares exploran distintas profundidades, generando una clase determinada de poros, favoreciendo aireación, ingreso de agua, almacenamiento o funciones mixtas. Los cultivos de maíz y sorgo tienen raíces fasciculadas pero agresivas y profundas, que al descomponerse quedan formando poros los cuales presentan alta estabilidad favoreciendo la dinámica del agua y aire.

2.3.3 Eliminación del laboreo

El laboreo del suelo favorece la descomposición de la materia orgánica, ya que incrementa la aireación y expone la materia orgánica a la actividad microbiana. En contraste, cuando el suelo deja de ser laboreado y se mantiene un aporte constante de residuos vegetales, se inicia un proceso de acumulación de carbono. Esto como consecuencia de la reducción de la mineralización de la materia orgánica (Martino, 2001).

Con el tiempo, el sistema tiende hacia un nuevo equilibrio en el contenido de carbono del suelo, determinado por las condiciones de manejo y el sistema de producción empleado. Este equilibrio puede alcanzarse luego de un período prolongado en el orden de 50 años aproximadamente (Martino, 2001).

La adopción de un sistema de siembra directa no garantiza necesariamente una acumulación de carbono orgánico en el suelo. El contenido de materia orgánica en equilibrio depende en gran medida de las propiedades del suelo y de las prácticas de manejo aplicadas. Dichos factores determinan la capacidad del sistema para conservar o incrementar el carbono orgánico en el tiempo (Rasmussen et al., 1980, como se cita en Martino, 2001).

2.3.4 Beneficios de la siembra directa

Con adecuada cobertura la siembra directa presenta más beneficios agronómicos que la siembra convencional porque reduce la erosión, mejora la conservación del agua, mejora el suelo, reduce el tiempo de barbecho, puede facilitar el control de malezas y reducir el efecto de enfermedades y plagas cuando es utilizada en rotaciones adecuadas (Sayre, 1998, como se cita en Ekboir, 2001).

2.4 PRECIPITACIONES E INFILTRACIÓN

2.4.1 Precipitaciones

El agua junto con los nutrientes, son los factores limitantes del rendimiento en los cultivos, si la oferta es limitada de la misma provoca una disminución en la tasa de crecimiento potencial impidiendo que alcancen su potencial de rendimiento (van Ittersum & Rabbinge, 1997).

La disminución del rendimiento causada por el estrés hídrico varía según la intensidad, el tiempo de duración y la etapa del ciclo en que ocurre dicho estrés (Hall et al., 1982). En consecuencia, el impacto que genera la falta de agua no es uniforme a lo largo del desarrollo del cultivo, sino que depende del momento específico en que se presente.

La principal limitante ambiental del país para la producción de cultivos estivales es la disponibilidad hídrica, esto explicado por tres factores principalmente, escasa capacidad de almacenamiento de agua, demanda atmosférica alta en verano que coincide con el periodo crítico de determinación del rendimiento, y a la irregularidad de las precipitaciones que generalmente no cumple con la necesidad de cultivo (Giménez, 2012).

Un cultivo de maíz necesita en promedio para condiciones como las del norte del país de aproximadamente 612 milímetros durante el ciclo del cultivo (Rodríguez Padrón et al., 2017).

2.4.2 Infiltración de agua en el suelo

Se ve que con alta cobertura de residuos en superficie (siembra directa), la infiltración de agua en el suelo es mayor en comparación a baja cobertura y muy superior a cuando se realiza laboreo convencional. Con menor densidad de rastrojo en el suelo la infiltración no es tan buena como lo es con alta cobertura, pero si es mejor a la que se da con laboreo. Esto sucede porque la estructura del suelo (porosidad) se conserva mejor bajo un sistema de siembra directa con rastrojo (Potter et al., 1995).

2.5 RASTROJO EN EL SUELO

El principal residuo de los cultivos de grano es la biomasa aérea. Esta biomasa cumple un rol vital en la sustentabilidad de la producción agrícola, protegiendo al suelo de la erosión, así como conservando sus propiedades y devolviendo nutrientes. Por lo tanto, su retiro afecta directamente la calidad del suelo y la producción de los futuros cultivos (Andrews, 2006; Batidzirai et al., 2016).

Estimar la fracción cosechable, o los requerimientos mínimos de biomasa que debe quedar en el campo, no es simple dado que depende de las condiciones climáticas del lugar, tipo de suelo, topografía, las prácticas agrícolas, el cultivo en cuestión, entre otras, existiendo gran variedad de criterios (Andrews, 2006; Batidzirai et al., 2016).

2.5.1 Composición química de los rastrojos

Los rastrojos presentan heterogeneidad en sus compuestos, estos pueden agruparse según su origen en seis categorías principales: celulosa, hemicelulosa, lignina, fracción soluble en agua, fracción soluble en éter y alcohol, y proteínas (Morón, 2001).

La celulosa constituye entre el 15 y el 60 % del peso seco vegetal y es el componente estructural más importante del rastrojo, ya que se encuentra en las paredes celulares. La hemicelulosa, es un polisacárido ramificado que también se ubica en la pared celular y suele ser el segundo compuesto en importancia. La lignina, por su parte, varía entre un 5 y un 30 % del peso seco y se caracteriza por su estructura compleja y alta resistencia a la degradación. Las fracciones solubles comprenden compuestos de fácil descomposición, como azúcares simples, aminoácidos, grasas, aceites y pigmentos, mientras que las proteínas aportan la mayor parte del nitrógeno y azufre presentes en los tejidos vegetales (Morón, 2001).

El contenido relativo de cada fracción depende de la especie vegetal y del estado de desarrollo de la planta. A medida que esta avanza en el ciclo del cultivo, se incrementan los niveles de celulosa y lignina, en tanto disminuyen las fracciones solubles y el contenido proteico (Blaser et al., 1986, como se cita en Morón, 2001).

2.5.2 Rastrojo de sorgo

El sorgo presenta variaciones en la composición química de sus diferentes partes vegetales. En el caso de la caña, el contenido de carbono alcanza un 40%, mientras que el nitrógeno es de 0,3 %, lo que determina una elevada relación C/N de 137. Este valor indica una muy baja proporción de nitrógeno disponible, lo que implica una descomposición más lenta del rastrojo en el suelo. Las fracciones de fibra detergente neutro y FDA son de 70% y 40,5 %, respectivamente, lo que refleja una alta proporción de compuestos estructurales como celulosa y lignina (Morón, 2001).

En la hoja, el contenido de carbono es muy similar al de caña o tallo (40,3%) y el nitrógeno se incrementa a 0,93%, reduciendo la relación C/N a 43, lo que sugiere una mayor facilidad de descomposición respecto a la caña, mientras que los valores de FDN (69,6%) y FDA (35,9%) también evidencian una importante presencia de fibras estructurales, aunque algo menores que en la fracción de caña (Morón, 2001).

En conjunto, estos valores indican que los rastrojos de sorgo presentan alta proporción de material fibroso y baja concentración de nitrógeno, especialmente en la caña, lo que afecta la velocidad de mineralización y el aporte de nutrientes al suelo (Morón, 2001).

Los residuos de sorgo incorporados al suelo por laboreo afectan la emergencia y el crecimiento inicial de diferentes cultivos, entre ellos el de maíz. En el caso de vigor inicial, se obtuvo que las plantas con rastrojo resultaron más pequeñas. La altura y

longitud de raíces fueron reducidas, el maíz se presenta como uno de los cultivos más afectados por el rastrojo de sorgo (Tibugari et al., 2021).

2.5.3 Temperatura del suelo con rastrojo

Ernst (s.f., como se cita en Belén et al., 2023), 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 de materia seca del rastrojo. La menor temperatura de los suelos no labrados con rastrojo en superficie puede traer problemas en el inicio de la estación de crecimiento, condicionando la velocidad de emergencia e implantación final.

2.6 NITRÓGENO EN EL CULTIVO

El nitrógeno es el nutriente que más limita el rendimiento de los cultivos de cereales en el mundo, así mismo es el nutriente que presenta mayor respuesta al agregado, es un problema muy recurrente que se apliquen sub dosis en cultivos de maíz, esto explicado fundamentalmente por la inversión que esto implica. Por lo que la consecuencia es obtener menores rendimientos por esta práctica, también ocurren pérdidas económicas por un gasto innecesario por la aplicación de más nitrógeno del necesario. Para establecer las recomendaciones de fertilización se debe tener en cuenta, el rendimiento a obtener y la capacidad de suministro de nitrógeno por parte del suelo (Baethgen, 1996).

2.6.1 Acumulación de nitrógeno en planta

La acumulación de nitrógeno en la biomasa aérea del maíz tiende a incrementarse a medida que aumenta la disponibilidad del nutriente en el suelo. Cuando el suministro de nitrógeno es insuficiente para satisfacer la demanda del cultivo, la producción de biomasa aérea se ve afectada negativamente (Asibi et al., 2019).

El nitrógeno acumulado en la planta se distribuye entre el grano y el rastrojo. Diversos factores, como humedad, temperatura, estructura y densidad aparente del suelo, son los que definen la capacidad del cultivo para absorber nitrógeno de manera eficiente. Por lo tanto, lograr una adecuada producción de biomasa aérea requiere de un suministro y una absorción equilibrada de nitrógeno. El aumento en el rendimiento del grano de maíz está relacionado con el incremento en la biomasa aérea total (Asibi et al., 2019).

2.6.2 Inmovilización y mineralización.

Cuando se incorpora al suelo un tipo de rastrojo con una relación carbono-nitrógeno (C/N) elevada, es decir, con un mayor contenido de carbono, los microorganismos del suelo necesitan obtener nitrógeno adicional para poder descomponer dicho material. Dado que el rastrojo no aporta suficiente nitrógeno, los microorganismos lo toman del disponible en el suelo. Este proceso, en el cual los microorganismos retienen temporalmente el nitrógeno del suelo para satisfacer sus

necesidades metabólicas es denominado inmovilización. Como consecuencia, puede producirse en el corto plazo un déficit de nitrógeno para los cultivos, hasta que los microorganismos mueren o se descomponen y liberan nuevamente el nutriente al suelo. Este proceso de liberación del nitrógeno orgánico transformado en formas inorgánicas disponibles para las plantas se conoce como mineralización (United States Department of Agriculture [USDA] & Natural Resources Conservation Service [NRCS], 2011).

2.7 RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE MAÍZ

2.7.1 Componentes ecofisiológicos del rendimiento

La ecuación de rendimiento es el producto de la radiación incidente, la eficiencia de intercepción (e_i) de la radiación solar, la eficiencia del uso de la radiación (EUR) y el índice de cosecha. La radiación incidente depende de la latitud, la época del año y la longitud del ciclo. La e_i es la radiación solar fotosintéticamente activa incidente y la radiación solar fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo y es máxima cuando se alcance el IAF crítico. Esta depende de la especie, el cultivar, desarrollo del cultivo, arquitectura de canopeo (densidad y arreglo espacial) y agua y nutrientes. EUR es la cantidad de biomasa producida por cada unidad de radiación interceptada, depende de la especie, estado hídrico, nutricional y cultivar. El índice de cosecha es la partición de asimilados, se calcula como la biomasa del órgano de interés económico dividido en la biomasa total. La biomasa en granos en este caso se compone de dos factores, el número de granos que está determinado por el activo crecimiento durante el periodo crítico y el peso de grano que está determinado por el activo crecimiento durante el llenado de grano. Los factores que afectan al índice de cosecha son la cantidad de granos en crecimiento, la duración del periodo crítico y el estado sanitario del cultivo (Cultivos de verano, comunicación personal, 2024).

2.7.2 Periodo crítico y determinación de rendimiento

El periodo crítico es la etapa donde cualquier deficiencia o estrés hace caer el rendimiento del grano en mayor proporción que en cualquier etapa. En maíz este periodo se ubica 15 días antes de la floración femenina hasta 15 días después de la floración femenina, dependiendo siempre del cultivar, fecha de siembra y condiciones climáticas (Andrade et al., 2023).

Para Fassio et al. (1998, p. 9) “la cantidad de radiación interceptada en el período crítico de floración, define el número de granos, mientras que aquella interceptada durante el período de llenado de granos, define el peso de mil granos”.

Se demostró que la radiación fotosintéticamente activa interceptada (IPAR) es de importancia en la determinación del número de granos, las reducciones en la radiación generan una disminución proporcional en el número de granos, indicando que el cultivo depende fuertemente de la radiación disponible durante el periodo crítico para sostener el

crecimiento de la espiga y la fijación de los óvulos, posteriores granos (Andrade et al., 2000).

2.7.3 Número y peso de grano

Este mismo trabajo demuestra que de los dos componentes que definen la biomasa cosechada el más determinante es el número de granos. La capacidad de un cultivo para fijar granos está relacionada con el estado fisiológico en el periodo de floración. Existe una relación positiva entre el número de granos y la tasa de crecimiento del cultivo, esta está afectada por el genotipo, el medio ambiente y su interacción. Por esto y lo mencionado anteriormente es que se logra un elevado número de granos fijados si el cultivo florece en momentos con alta radiación incidente, si alcanzó el IAF crítico y si se presenta alta EUR (Andrade et al., 2023).

El peso del grano está determinado por la tasa de llenado y el periodo de llenado, este proceso puede ser acelerado por las bajas temperaturas y el acortamiento de los días. En un trabajo con distintas fechas de siembra y densidades de plantas, el objetivo fue estudiar el efecto de la fecha y densidad de siembra sobre la determinación del rendimiento y sus componentes. Las siembras fueron en octubre y noviembre con densidades altas, intermedias bajas. El número de granos por metro cuadrado fue máximo en la densidad alta en siembras de octubre, pero en siembras tardías fue la densidad intermedia. Siembras tardías y altas densidades redujeron el número de espigas por planta y de granos por espiga. Los investigadores proponen que la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada durante los 31 días alrededor de floración explicó la variación del número de granados por planta. También dicen que fechas tardías como diciembre tuvieron rendimientos bajos y que en siembras tempranas es necesario mayor número de plantas para obtener rendimientos altos (Cantarero et al., 2000).

En fechas tardías lo que sucede es que el peso del grano disminuye y se fija un menor número de granos en comparación con las fechas tempranas. Explicado por un ambiente lumínico subóptimo y esto determina una mayor relación fuente - destino.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO

Las actividades a campo se realizaron en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC) de la Facultad de Agronomía, ubicada en el departamento de Paysandú, Uruguay (Ruta Nacional N.º 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, el suelo predominante en el área del ensayo corresponde a un Brunosol eútrico típico, de textura limo-arcillosa, perteneciente a la unidad "San Manuel" de la Formación Fray Bentos. La profundidad del suelo varía entre aproximadamente 50 y 80 cm, con 1% de pendiente (Altamirano et al., 1976).

3.2 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

3.2.1 Aspectos tecnológicos y logísticos de la instalación del ensayo

El ensayo se realizó en los meses de octubre y abril del año 2024 y 2025 respectivamente, en el cultivo de maíz; donde se realizaron los diferentes muestreos, mediciones y evaluaciones para determinar el efecto de los diferentes tratamientos (porcentaje de rastrojo del cultivo antecesor) en el rendimiento del cultivo.

La siembra del cultivo fue el 5 de diciembre de 2024, con una distancia entre hileras de 0,50 m buscando una población objetivo de 6 plantas por metro cuadrado. La variedad utilizada fue Dúo 354 PWU.

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 se aplicaron 100 kg ha⁻¹ de fosfato de amonio (18-46/46-0). La fertilización nitrogenada se realizó en V6 aplicando 125 kg de urea azufrada (40/0/0+5S) en cuatro hileras de los tratamientos.

3.2.2 Secuencias de cultivos en las rotaciones agrícolas

La siembra se desarrolló en dos sistemas de rotaciones, ya establecidos al momento de la instalación del ensayo, el sistema uno, bajo agricultura continua con siembra directa, este inicia con el cultivo de trigo en invierno seguido por sorgo granífero de segunda, posteriormente barbecho para finalizar la rotación de 2 años con maíz grano de primera. El sistema dos se diferencia únicamente en el cultivo de sorgo grano que pasa a ser sorgo silero.

3.2.3 Definición de los tratamientos

En el primer semestre de 2024 se llevó a cabo la cosecha del sorgo, antecesor del maíz, manteniendo el rastrojo de este cultivo durante el invierno. El 6 de noviembre se instaló el ensayo quitando el rastrojo correspondiente a cada tratamiento.

El ensayo se estructuró en 15 parcelas de las cuales 9 eran de la primera rotación y las restantes 6 pertenecían a la segunda. Continuando con la rotación uno, se establecieron tres tratamientos con tres repeticiones cada uno, el primer tratamiento se basó en el nulo retiro de rastrojo, el segundo consistió en la quita del 40% del rastrojo y por último para el tercero se retiró el 80% del mismo. En la segunda rotación se realizaron dos tratamientos con tres repeticiones cada uno, el primero era el de nulo retiro y el segundo de la quita del 80% de rastrojo. La decisión de no incluir el tratamiento con un 40% de retiro de rastrojo (RR) en la segunda rotación se fundamentó en que el sorgo silero es destinado a la elaboración de silo de planta entera, lo que implica la extracción total del cultivo. Como resultado, el rastrojo en el campo es equivalente al generado en el tratamiento con 80% de retiro de rastrojo. Por esta razón, desde el punto de vista agronómico, no resulta pertinente plantear un tratamiento de retiro parcial (RR 40%).

En la alternativa donde no se retiró rastrojo se cosechó convencionalmente, mientras que para la quita total de rastrojo implica pasar rastrillo para dejar el suelo descubierto para la siembra de maíz. En el nivel intermedio se retiró parcialmente el rastrojo con rastrillo dejando el suelo cubierto, pero con menos densidad de restos secos.

En ambos sistemas, cada tratamiento se subdividió en dos niveles de fertilización, con y sin agregado de nitrógeno. La aplicación del fertilizante se realizó en el estadio V6 del cultivo, manteniéndose ambas condiciones dentro del mismo tratamiento. Se aplicaron en los casos correspondientes 50 unidades de nitrógeno.

3.2.4 Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron implantación del cultivo de maíz, nitratos en suelo antes de la siembra dos veces (60 y 30 días pre siembra), y posterior a la siembra en emergencia y en V7, también se cuantificó infiltración de agua, rendimiento y sus componentes (mazorcas por metro cuadrado, granos por mazorca, granos por metro cuadrado, peso de mil granos) y porcentaje de humedad.

3.2.5 Procesamiento de los datos

El modelo utilizado fue un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar, con un factorial de 2x2 con un tratamiento adicional.

3.2.5.1 Sistema 1

Modelo: $Y_{jkl} = \mu + \beta l + \delta l + B_j + (B)_j + C_k + (BC)_{jk} + \epsilon_{jkl}$

- $j=1,2,3$ (nivel de retiro de residuo)
- $k=1,2$ (nitrógeno)
- $l=1,2,3$ (bloque)
- δl Vs I s ID $N(0; \sigma^2_{\epsilon a})$ condiciones de parcela grande
- ϵ_{jkl} Vs 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

3.2.5.2 Sistema 2

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)
- δil Vs As I s ID $N(0; \sigma^2_{\epsilon a})$ condiciones de parcela grande
- ϵ_{ijkl} 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)

- 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 cinco tratamientos, correspondientes a las 5 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.

3.2.6 Mediciones realizadas

3.2.6.1 Barbecho

Se realizaron muestreos de suelo para evaluar disponibilidad de nitratos, esto se hizo en dos oportunidades previo a la siembra, para esto se utilizó un taladro tirabuzón y se tomaron 5 muestras de cada tratamiento, almacenándolas en una bolsa plástica que luego fue enviada a laboratorio. El primer muestreo se realizó el 10/10/2024 y la segunda muestra el 6/11/2024 previo a la siembra.

3.2.6.2 Durante el cultivo

Se midió infiltración en cada una de las parcelas, realizando tres repeticiones por tratamiento. Para esto se colocaron cilindros de PVC hundidos en la tierra y se vertieron 450 ml de agua en ellos. Si el agua desaparecía en menos de 45 minutos se repetía el procedimiento, si esto no ocurría se terminaba la medición. El agua que no se filtraba en el suelo se mide con regla. Todos los pasos fueron cronometrados. (13/12/2024)

Para medir la implantación se contaron las plantas emergidas en las dos hileras centrales esto se hizo en 8 metros lineales para luego calcular las plantas por metro cuadrado. (13/12/2024)

Se volvió a tomar muestras de suelo para medir los niveles de nitratos en el suelo, el procedimiento fue el mismo que antes de instalado el cultivo. Esto durante el cultivo se realizó en dos momentos, durante la emergencia del cultivo (11/12/2024) y en V7 (17/01/2025).

3.2.6.3 Cosecha y post cosecha

De cada tratamiento se cosechó el 29/04/2025 a mano el maíz de hileras con nitrógeno y sin nitrógeno, de cada uno de estos se registró el número de plantas cosechadas. La metodología fue la cosecha de 8 metros lineales de cada hilera. Posteriormente se contaron el total de mazorcas y se obtuvo el número de granos por mazorca para luego obtener el peso de mil granos. Además, se midió humedad, con humedímetro de laboratorio, esto se realizó con muestras de cada tratamiento y se determinó el porcentaje de humedad que presentaba cada uno de ellos. Para la obtención de rendimiento se trabajó con humedad en base 13%. Con estos componentes se estimó el rendimiento del maíz. Cabe destacar que se realizaron estimaciones de rendimiento, ya que los tratamientos sufrieron ataque de plagas.

La metodología para obtener el peso de mil granos fue tomar tres muestras de cien granos de cada tratamiento y posteriormente pesarlos para obtener el peso y luego pasarlos a base mil.

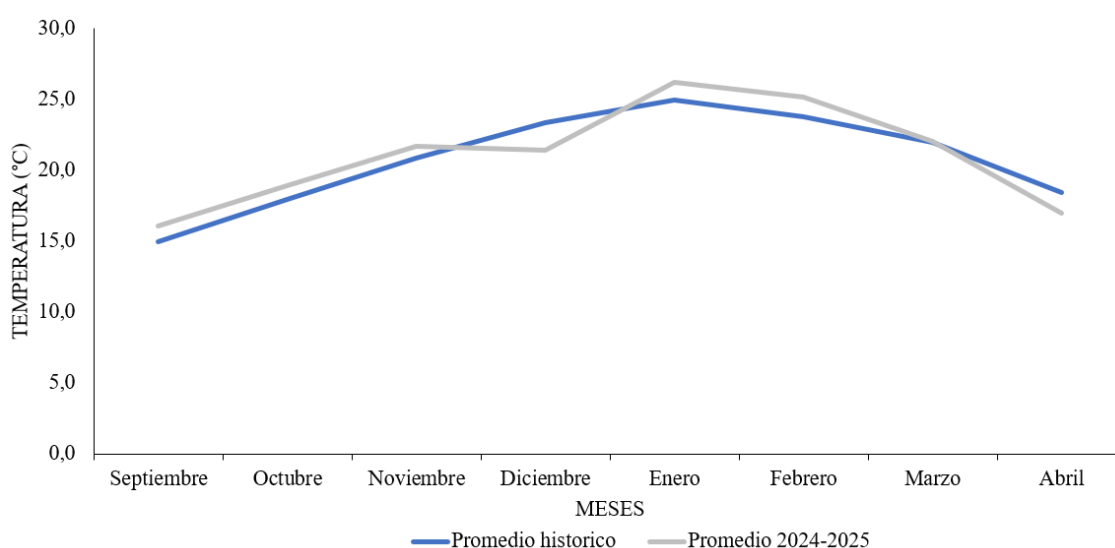
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Condiciones climáticas durante el periodo de cultivo

La figura 1 muestra las temperaturas promedio para el período experimental. Se compara con una serie histórica de datos para la variable. Los datos se extrajeron para el promedio histórico de la estación meteorológica de EEMAC, para temperatura, precipitaciones y radiación solar.

Figura 1

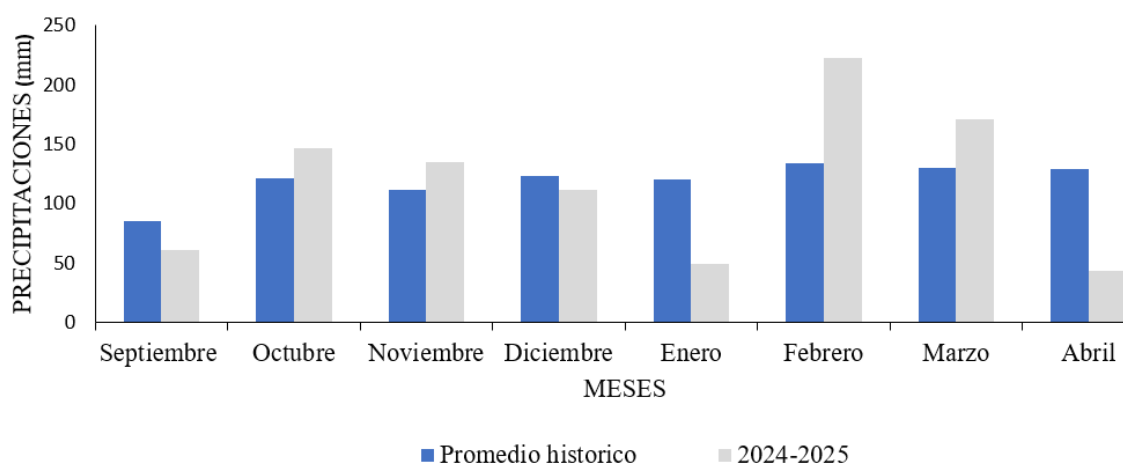
Temperaturas promedio mensuales registradas durante 2024-2025 comparada con la serie histórica desde 2002 a 2020



Se puede ver en la Figura 1 que la temperatura en la mayoría de los meses siguió el patrón histórico, presentando diferencia apreciable en el mes de diciembre donde el promedio mensual fue menor a la histórica, para los meses de enero, febrero y marzo de 2025 la temperatura estuvo por encima del promedio histórico.

Figura 2

Precipitaciones acumuladas mensuales registradas durante 2024-2025 comparada con la serie histórica desde 1961 a 2020



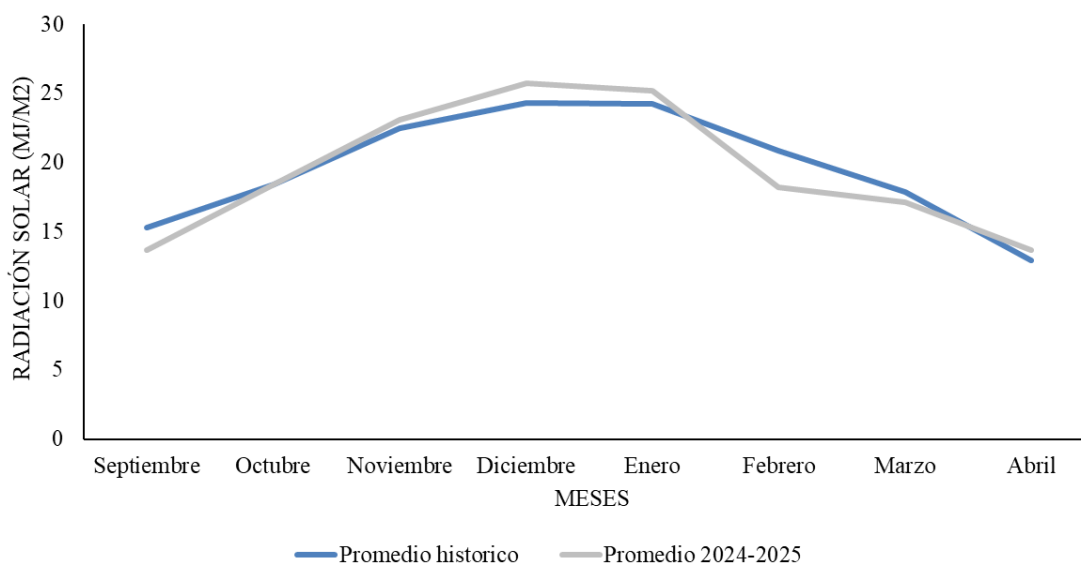
La figura 2 compara las precipitaciones mensuales registradas en 2024-2025 con el promedio histórico (1961-2020), muestra que existieron variaciones marcadas según el mes. En general las de 2024-2025 fueron más irregulares que las del promedio histórico viéndose que en septiembre, enero, diciembre y abril presentan lluvias por debajo del promedio histórico, con diferencias particularmente notorias en enero y abril. En cambio, octubre, noviembre, febrero y marzo registran precipitaciones superiores a lo habitual, destacándose febrero, donde el valor 2024-2025 supera ampliamente al histórico y constituye el pico máximo de la serie reciente.

Durante el período evaluado, octubre a abril, llovieron en total 878 mm, si se compara con el promedio histórico el valor es similar pero no su distribución. En el mes de enero del año 2025, la lluvia fue 59% menor que el promedio histórico. Por el contrario, en el mes de febrero de 2025 fueron un 67% mayores. Es de importancia la intensidad, duración y etapa del ciclo en que se da el estrés. El impacto generado por una eventual falta de agua no es uniforme a lo largo del desarrollo del cultivo (Hall et al., 1982).

El cultivo de maíz para estas condiciones necesita aproximadamente 612 mm en todo su ciclo (Rodríguez Padrón et al., 2017). En este caso en el ciclo del cultivo llovieron 600 mm por lo que se podría considerar que la demanda hídrica estaría satisfecha. La falta de agua no se dio en los períodos cruciales del cultivo ya que las precipitaciones fueron convenientemente distribuidas durante el ciclo.

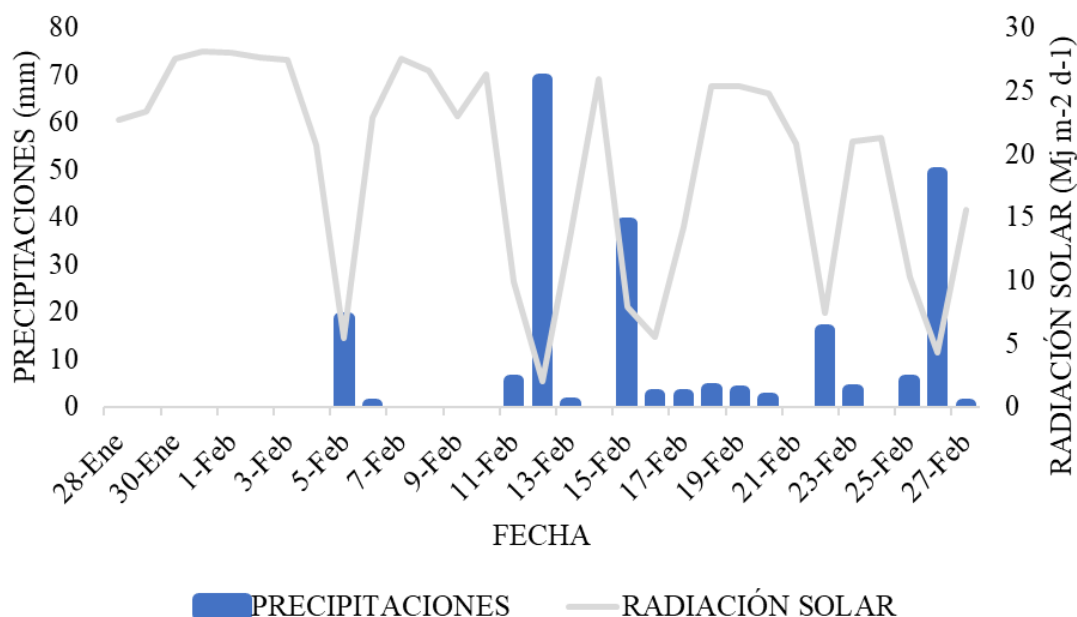
Figura 3

Radiación solar acumulada mensual registrada durante 2024-2025 comparada con la serie histórica desde 2002 a 2020



En la figura 3 se muestra la comparación de la radiación solar incidente diaria promedio en Paysandú en una serie histórica comparada con el momento en que se instaló el ensayo, en el cual se puede notar que el ciclo 2024–2025 presenta niveles de radiación similares al promedio histórico, con mejores valores durante diciembre y enero pero una disminución notable en febrero, que es donde se ve la mayor diferencia comparando con la serie histórica, mostrando valores de RS incidentes inferiores al promedio histórico. Esto fue consecuencia de las mayores precipitaciones con respecto a la media histórica, lo que generó valores de RS incidentes menores en el mes mencionado.

La RS diaria incidente promedio durante el ciclo del cultivo en 2024-2025 fue de 19,98 $\text{Mj m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ estando por debajo del promedio histórico de 20,04 $\text{Mj m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, a causa de las mayores precipitaciones en comparación a la serie histórica como se mencionó, cabe destacar que los meses que contribuyeron más para que esto se de así fueron los de febrero y marzo que estuvieron por encima del promedio en cuanto a las precipitaciones. El mismo efecto sucedió durante el período crítico, la RS diaria incidente promedio durante este periodo en 2024-2025 fue de 18,21 $\text{Mj m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ estando por debajo del promedio histórico de 20,85 $\text{Mj m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Figura 4*Período crítico del cultivo de maíz*

En la siguiente figura se muestra el período crítico del cultivo de maíz, ubicado entre finales de enero (28/01) hasta fin de febrero (27/02). Es de suma importancia que no se produzca un estrés en este momento, las precipitaciones en los últimos seis días del mes de enero fueron de 31 mm y la siguiente lluvia fue el 5 de febrero. Esto fue muy favorable para el cultivo, ya que en el mes se acumularon 222 mm, si bien estuvieron concentradas principalmente en la segunda quincena se perciben precipitaciones en los días cinco y seis de febrero.

La radiación solar incidente fue menor a la que ocurre normalmente en el país en este mes como se presenta en la Figura 3 notándose una diferencia de aproximadamente $2,6 \text{ Mj m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

La radiación solar se mantiene estable en la mayoría de los días, salvo en fechas donde ocurren eventos de lluvia importantes. En esas jornadas, la radiación cae de forma marcada, por consecuencia de la nubosidad del día. En este periodo se da la máxima demanda de fotoasimilados por parte de la planta, esto quiere decir que la radiación interceptada regula la tasa de crecimiento de la espiga y abastece de carbohidratos el grano para su fijación y posterior crecimiento. En este caso la radiación podría estar afectada por la nubosidad por lo que, bajó la producción de fotoasimilados y por lo tanto se vio afectado el crecimiento de la espiga, como consecuencia de esto, el número de granos disminuyó en cierta medida (Andrade et al., 2000).

4.2 Maíz**Tabla 1**

Probabilidad y significancia estadística para nitratos medidos en distintos momentos en el sistema uno

Fecha	60 días antes de la siembra (10-Oct)	30 días antes de la siembra (6-Nov)	Emergencia (11-Dic)	V7 (17-Ene)
RR	ns	ns	ns	ns

Nota. Se utilizó una significancia de 0.10 de probabilidad.

La Tabla 1 muestra los valores de significancia estadística para nitratos en distintos momentos del cultivo y evidencia que, en las fechas evaluadas, tanto pre siembra como en el cultivo, no hubo efecto estadísticamente significativo del retiro de rastrojo (RR) en el sistema uno, que incluye dejar todo el rastrojo (0%), quitar la mitad (40%) y completo retiro (80%).

USDA (2011, como se cita en Fillat & Vera, 2023), para todos los casos (Tabla 1, Tabla 2) en donde se evaluó nitratos en suelo se esperaba encontrar, con este tipo de rastrojo que presenta alta relación C/N, que los microorganismos del suelo obtengan nitrógeno adicional desde el suelo para descomponer dicho material, este proceso llamado inmovilización tiene como consecuencia en el corto plazo déficit de nitrógeno. En este estudio el resultado no se dio como se esperaba, ya que el retiro de rastrojo no mostró variación según la permanencia o ausencia de rastrojo en el suelo.

Tabla 2

Probabilidad y significancia estadística para nitratos medidos en distintos momentos en ambos sistemas

Fecha	60 días antes de la siembra (10-Oct)	30 días antes de la siembra (6-Nov)	Emergencia (11-Dic)	V7 (17-Ene)
RR	ns	ns	0.08	ns
SIS	ns	ns	ns	ns
SIS*RR	ns	ns	ns	ns

Nota. Se utilizó una significancia de 0.10 de probabilidad.

La Tabla 2 muestra los valores de significancia estadística para nitratos en distintos momentos del cultivo para el sistema (SIS) uno y dos (0%-80%), donde se

aprecia que en el único caso en el que hay diferencias significativas es en el retiro de rastrojo en el momento de la emergencia del cultivo, para el resto de los momentos y variables evaluadas (RR, SIS, interacción SIS*RR) no se apreciaron diferencias significativas en cuanto al contenido de nitratos en suelo.

Tabla 3

Probabilidad y significancia estadística para las variables determinantes del rendimiento de maíz en sistema uno

	Implantación	Infiltración T1	Infiltración T2	Rendimiento	Granos por m ²
RR	ns	0.04	ns	ns	Ns
N	-	-	-	ns	Ns
RR*N	-	-	-	ns	Ns

Nota. Se utilizó una significancia de 0.10 de probabilidad.

En la Tabla 3 se observa para el sistema uno, la evaluación de tres tipos de efectos ajustados por población, los mismos fueron, retiro de rastrojo (RR) del cultivo antecesor, nitrógeno (N) y la interacción de las mismas (RR*N). Para implantación no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos, en el único caso donde se encontró diferencias significativas fue en el primer tiempo de infiltración realizado, mientras que en la segunda medición no hubo diferencias significativas.

Se puede ver que no se encontraron diferencias significativas para los tres efectos evaluados según rendimiento y granos por metro cuadrado, cabe destacar que tanto el número de espigas por metro cuadrado (una espiga por planta) y el peso de mil granos (315g en promedio) tampoco mostraron diferencias significativas. Esto es debido a que no había diferencias en la implantación según el retiro de rastrojo.

Para Aldrich y Leng (1974) se esperaba encontrar diferencias significativas a favor de los tratamientos que presentaban rastrojo en el suelo explicado fundamentalmente por la humedad del suelo, esto no fue así, como ya se mencionó, no había diferencia entre los tratamientos.

Para la infiltración de agua, se ve que en este caso los resultados condicen con la bibliografía (Potter et al., 1995), a mayor cobertura de rastrojo, mejoraba la infiltración de agua, significativamente para el tiempo uno y tendía a ser mejor en el tiempo dos.

Tabla 4

Efecto del retiro de rastrojo sobre implantación, infiltración y nitratos del suelo en sistema uno

	RR 0%	RR 40%	RR 80%
Implantación (pl/mts ²)	5,7	6	5,6
Infiltración T1 (mm/h)	47,3	15,7	11,7
Infiltración T2 (mm/h)	6	2	1,3
Nitratos (ppm)			
60d pre siembra	13,6	11,4	12,8
30d pre siembra	10,8	13,6	14,5
Emergencia	13	10,7	12,7
V7	6,8	6,2	8,1

En la Tabla 4 se aprecia que el retiro de rastrojo no afectó significativamente el número de plantas por metro cuadrado, ni los nitratos en suelo.

Para el caso de la infiltración se ve que la única diferencia estadísticamente significativa es la infiltración en el tiempo uno. A medida que se mantiene el rastrojo aumenta el ingreso de agua al suelo, esto expresado en mm/h. Esto indica que al mantener más rastrojo se mejora la capacidad del suelo para infiltrar agua. Para el caso de la infiltración en el tiempo dos, se mantiene la tendencia, pero no es significativamente diferente.

En los nitratos no se identifica una tendencia clara según el retiro de rastrojo, el único patrón que siguen los datos es que después de la emergencia, bajan los nitratos sin importar el nivel de retiro. Se esperaría encontrar en los tratamientos con nulo retiro alta relación carbono/nitrógeno y por consecuencia inmovilización del mismo (USDA & NRCS, 2011), como mencionó, en este caso la tendencia únicamente se ve reflejada en los tratamientos de 40% de retiro y 80% donde el retiro determinó mayor contenido de nitratos en el suelo.

En promedio el número de plantas por hectárea obtenido para este sistema fue de 57.700, debería haber 60.000 plantas por hectárea para estas condiciones (Boschi, 2019), por lo tanto, la implantación del cultivo en general para este sistema fue bueno.

Tabla 5

Probabilidad y significancia estadística para las variables determinantes del rendimiento de maíz en ambos sistemas

	Implantación	Infiltración T1	Infiltración T2	Rendimiento	Granos por mts ²
SIS	ns	ns	Ns	Ns	ns
RR	ns	0.07	0.01	0.05	0.05
N	ns	-	-	Ns	ns
SIS*RR		0,7	Ns	0.06	0.06
RR*N		-	-	Ns	ns
SIS*N		-	-	Ns	ns
SIS*RR*N		-	-	Ns	ns

Nota. Se utilizó una significancia de 0.10 de probabilidad.

En ambos sistemas se evaluaron siete efectos ajustados por población, siendo estos, sistema (SIS), retiro de rastrojo (RR), nitrógeno (N), interacción sistema por retiro de rastrojo (SIS*RR), retiro de rastrojo por nitrógeno (RR*N), sistema por nitrógeno (SIS*N) y la interacción triple de sistema, retiro y nitrógeno (SIS*RR*N). En sistema no hay diferencias significativas. Para el rendimiento, granos por metro cuadrado y para la infiltración en el retiro de rastrojo se encontraron diferencias significativas. Luego, comparando la interacción sistema por retiro de rastrojo se obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento y granos por metro cuadrado, y para la primera medición de infiltración.

En el caso de la infiltración sucede lo mismo que se explicó en la Tabla 3, los resultados concuerdan con la bibliografía, a su vez también se agrega la significancia sobre el retiro de rastrojo para el tiempo dos.

Tabla 6

Efecto del retiro de rastrojo sobre implantación, infiltración y nitratos del suelo en ambos sistemas

	RR 0%	RR 80%
Implantación	5,6	5,8
Infiltración T1	40,5	11,2
Infiltración T2	3,8	1,5
Nitratos (ppm)		
60d pre siembra	13,9	12,5
30d pre siembra	11,7	11,6
Emergencia	13,5	11,9
V7	8,9	7,7

Al igual que en la Tabla 4 la permanencia de rastrojo favorece la entrada de agua al suelo, al igual de la Tabla anterior esta también presenta diferencias significativas en el tiempo uno. Para el tiempo dos, no hay diferencias significativas, pero se ve una tendencia con la misma lógica que el tiempo uno.

En cuanto a los nitratos, la respuesta de los nitratos es variable en los momentos de muestreo. A los 60 y 30 días antes de la siembra no se registran diferencias significativas entre tratamientos, lo que sugiere que la disponibilidad inicial de nitratos no está influida por la presencia o ausencia de rastrojo. Durante la emergencia se detecta una diferencia significativa, con mayor concentración de nitratos a nulo retiro, lo que podría asociarse a una menor pérdida de nutrientes o un ambiente más favorable para la mineralización cuando permanece cubierto. En V7 se vuelve a ver que los tratamientos se igualan indicando que la significancia de la emergencia es transitoria.

Tabla 7*Nitratos del suelo según retiro de rastrojo y sistemas a distintas fechas de muestreo*

		RR 0%	RR 80%
60d pre siembra	Sis 1	13,6	12,8
	Sis 2	14,1	12,2
30d pre siembra	Sis 1	10,8	14,5
	Sis 2	12,5	8,7
Emergencia	Sis 1	13	12,7
	Sis 2	13,9	11,1
V7	Sis 1	6,8	8,1
	Sis 2	11	7,4

En la Tabla 7, se muestran los nitratos en el suelo en ppm según la interacción entre los sistemas de rotación y el retiro de rastrojo. Dando como resultados que los valores de nitratos en el suelo mostraron diferencias significativas únicamente en la fecha 30 días antes de la siembra, mientras que en las demás fechas (60 días antes, emergencia y V7) no se detectaron efectos del retiro de rastrojo ni del sistema de rotación.

En el Sistema 1, el tratamiento con RR 80% presentó un nivel de nitratos significativamente mayor que el tratamiento sin retiro de rastrojo, en cambio en el sistema dos esta tendencia no se dio así, ya que sin presentar diferencias significativas entre los retiros de rastrojo existía una tendencia a que sea menor el nitrato en suelo para el caso donde se quitaba todo el rastrojo. Para el resto de las fechas no se encontró una relación clara entre la interacción de sistema por retiro de rastrojo.

Tabla 8*Rendimiento según nivel de retiro de rastrojo y dosis nitrogenada para sistema uno*

Kg/ha	0N	50N	Media
RR 0%	6512	5919	6216
RR 40%	6634	6478	6556
RR 80%	6894	7914	7404
Media	6680	6770	

Los resultados muestran que ni el nivel de rastrojo (0%-40%-80%), ni la dosis de nitrógeno (0N y 50N) generaron diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento ni en los granos por metro cuadrado. Si bien se ven diferencias numéricas, se denota una tendencia de valores mayores con 80% de retiro y 50N, esta última en menor magnitud, por lo mencionado anteriormente estas tendencias no son suficientes para concluir efectos reales de manejo sobre el desempeño del cultivo.

La Tabla 8 también compara las medias de los dos agregados de nitrógeno para cada nivel de retiro de rastrojo, esto muestra que hay una tendencia a que el cultivo tenga mejor rinde y más granos por metro cuadrado cuando el retiro crece. Como se dijo anteriormente, es solo una tendencia ya que no es significativamente distinto.

Para nitrógeno, contrario a lo que se esperaba, no se encontraron diferencias al agregado de N a igual tratamiento. Se esperaba encontrar diferencias en el rendimiento a favor donde se aplica nitrógeno ya que es el nutriente que más limita el rendimiento (Baethgen, 1996).

Tabla 9*Rendimiento según nivel de retiro de rastrojo y dosis nitrogenada para ambos sistemas*

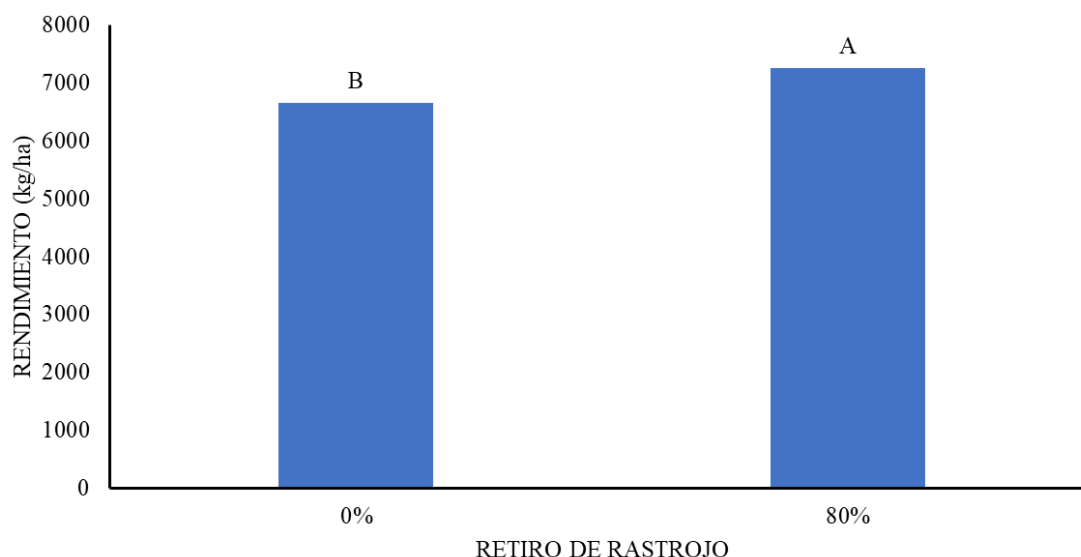
		0N	50N	Media
0% RR	Sis 1	6565	5974	6270
	Sis 2	7067	7013	7040
80% RR	Sis 1	6944	7969	7457
	Sis 2	7029	7088	7059
	Media Sis 1	6755	6972	
	Media Sis 2	7048	7051	
	Media	6901	7011	

En la Tabla 9, se analiza la interacción entre sistema, nivel de retiro de rastrojo y nitrógeno. No se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos, a pesar de que era un resultado esperado. De todos modos, se observaron algunas tendencias: en el Sistema 1 el rendimiento tiende a aumentar cuando se retira el 80 % del rastrojo en

comparación con dejarlo. Por el contrario, en el Sistema 2 no se identifican tendencias asociadas al manejo del rastrojo.

Figura 5

Rendimiento del maíz según nivel de retiro de rastrojo en ambos sistemas

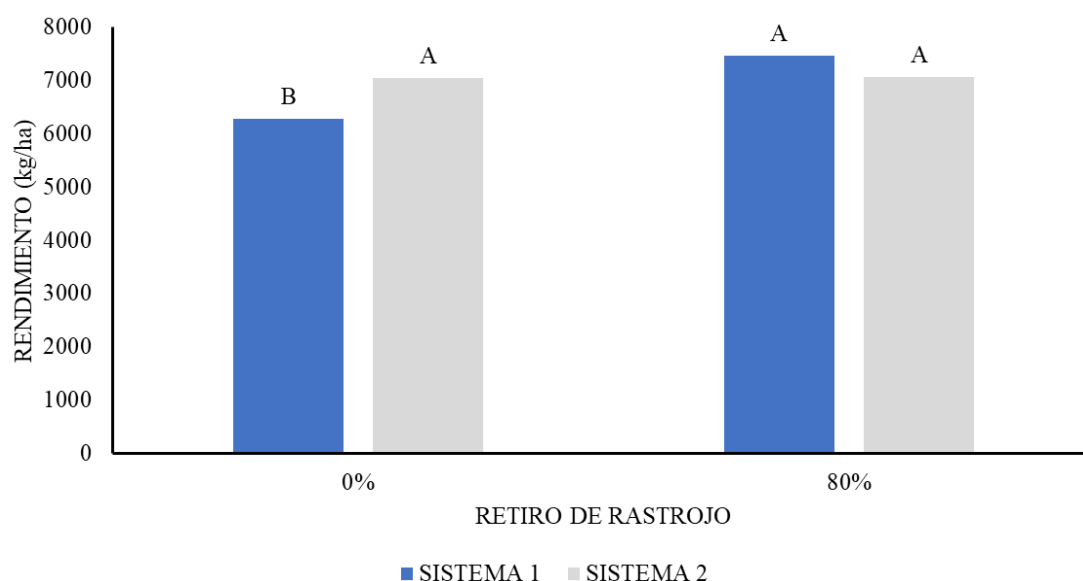


La Figura 5 muestra el rendimiento del cultivo de maíz según el retiro de rastrojo, evaluado en dos niveles. Se aprecian diferencias significativas en el rendimiento a favor del retiro total de rastrojo, con 600 kg/ha adicionales bajo esta condición. Se interpreta que, en estas circunstancias, el retiro total del rastrojo favorece el rendimiento en el cultivo de maíz.

Se toma como supuesto la bibliografía y se asume que estos factores fueron los que explicaron el menor rendimiento del tratamiento donde se mantenía el rastrojo (Tibugari et al., 2021). Por lo tanto, el vigor inicial tanto en tamaño de planta como en desarrollo radicular, fue menor en el caso de 0%. Esto se toma como supuesto ya que no se realizaron medidas de plantas ni tamaño de raíz.

Figura 6

Rendimiento del maíz según sistema y nivel de retiro de rastrojo comparando ambos sistemas



La Figura 6 presenta el rendimiento de maíz (kg/ha) para los dos sistemas bajo dos niveles de retiro de rastrojo. Las letras sobre cada barra representan los grupos estadísticos donde los valores que comparten la misma letra no difieren significativamente.

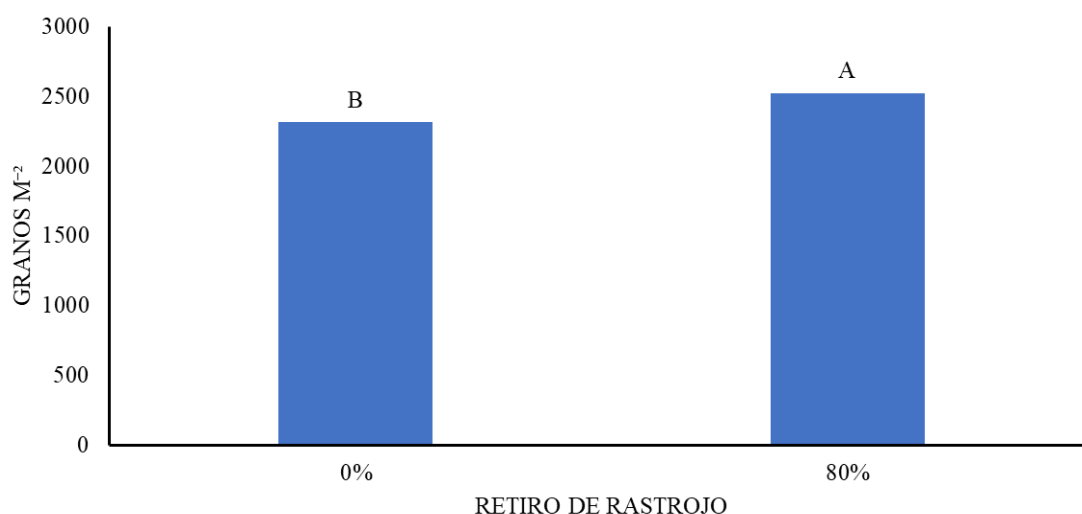
El sistema uno muestra una clara respuesta positiva al retiro del rastrojo (80%), aumentando su rendimiento cuando se da la quita del rastrojo. El sistema dos se mantiene estable, sin cambios en rendimiento, independientemente del nivel de retiro. Cuando no se retira rastrojo (0%), el sistema dos rinde más que el sistema uno. Con el retiro, ambos sistemas tienen aproximadamente el mismo nivel de rendimiento.

Para el sistema uno se aprecia que condice con lo explicado en la Figura 5, en el sistema dos no hay una tendencia de acuerdo a la bibliografía.

Además, se puede ver que al mantener el rastrojo en superficie se ven diferencias, ya que en el sistema dos se cosecha de planta entera del antecesor que deja poca cantidad de rastrojo lo que provoca que, al no retirarlo, el rendimiento disminuya en el sistema uno considerablemente. En el caso de 80% de retiro no se ven diferencias debido a que quedan en mismas condiciones luego del retiro.

Figura 7

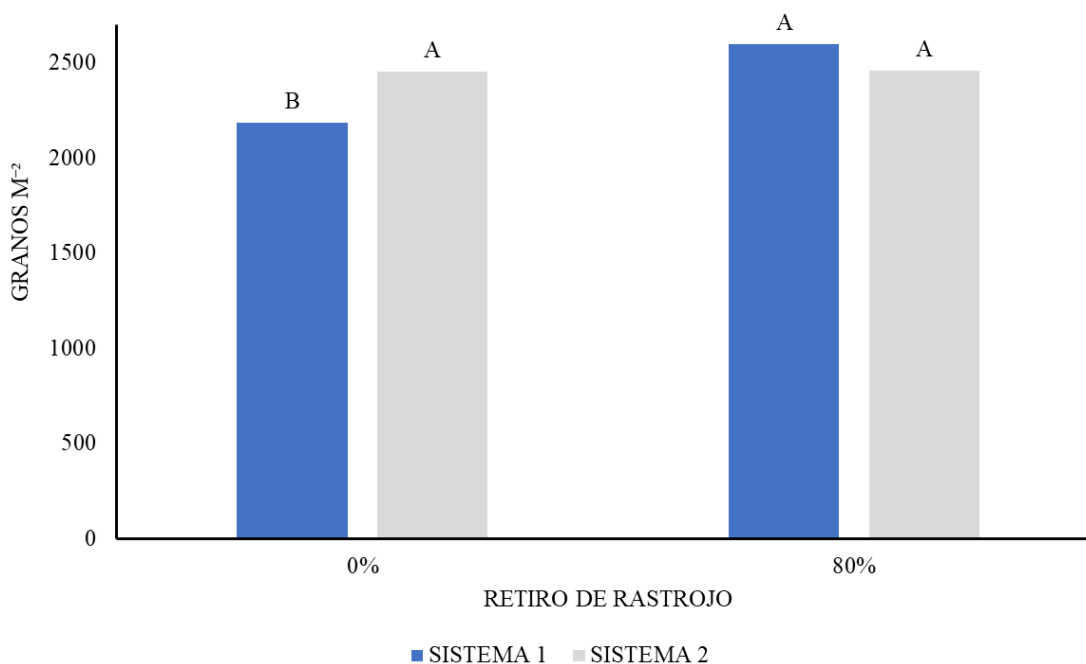
Número de granos por metro cuadrado según nivel de retiro de rastrojo para ambos sistemas



En la Figura 7 se aprecia el número de granos por metro cuadrado según el retiro de rastrojo, evaluado en dos niveles. Se ven diferencias significativas a favor del retiro total de rastrojo, tal como se observó también en la Figura 5, donde el rendimiento del cultivo fue mayor bajo esta condición. Es importante considerar que ambas variables están correlacionadas, dado que el número de granos es un componente del rendimiento en este cultivo. En este caso, la diferencia en el número de granos fue de 210 granos por metro cuadrado a favor del tratamiento en el que se retiraba la totalidad del rastrojo.

Figura 8

Número de granos por metro cuadrado según sistema y nivel de retiro de rastrojo



La Figura 8 muestra el número de granos por metro cuadrado (granos m^{-2}) en los dos sistemas bajo dos niveles de retiro de rastrojo (0% y 80%), se puede ver que la principal diferencia significativa es en el sistema uno sin retiro de rastrojo, donde el número de granos por metro cuadrado fue 2183 siendo significativamente menor que el resto, estos tuvieron valores entre 2450 hasta 2600 que fue el que más granos tuvo (sistema 1 con 80% de RR). Por lo tanto, se puede interpretar que el retiro de rastrojo en el sistema uno mejoró el número de granos, para el sistema dos no se aprecian diferencias significativas dentro del sistema.

6. CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que el nivel de retiro de rastrojo de sorgo no afectó la implantación del maíz en ninguno de los dos sistemas evaluados. Esto indica que, bajo las condiciones ambientales de la zafra 2024–2025, la presencia o ausencia de rastrojo no generó limitantes en la emergencia ni en la población final del cultivo, contrariamente a lo planteado en las hipótesis.

En relación al contenido de nitratos en el suelo, no se verificaron diferencias consistentes entre tratamientos ni antes ni durante el cultivo, salvo una diferencia puntual en la medición realizada en emergencia.

En cuanto a la infiltración de agua, sí se observaron diferencias concordantes con la bibliografía, los tratamientos con mayor permanencia de rastrojo presentaron mejores tasas de infiltración, reflejando en un potencial mayor de agua disponible del suelo. Sin embargo, esta mejora física del suelo no se tradujo en mayor rendimiento, lo cual indica que la infiltración no fue un factor limitante durante el ciclo analizado.

Respecto al rendimiento y sus componentes, no se detectaron diferencias significativas para el sistema de rotación de sorgo grano (sistema uno) por efecto del retiro de rastrojo ni del agregado de nitrógeno.

Para la comparación de los sistemas en retiro 0% y 80% se apreció que la quita del rastrojo se asoció a mayores rendimientos, por lo tanto, esto no coincide con lo expresado en hipótesis. La principal diferencia vista en rendimientos según sistemas fue en el sistema uno, mientras que en el sistema dos el desempeño fue similar independientemente del nivel de retiro.

Un punto clave del análisis es el impacto conjunto entre lluvias y radiación. Las precipitaciones acumuladas cubrieron las necesidades del cultivo, el mes de febrero presentó lluvias muy superiores al promedio histórico. En este contexto, la incidencia del rastrojo probablemente no fue determinante en las diferencias de rendimiento. También tiene como consecuencia mayor nubosidad y reducciones significativas en la radiación incidente, especialmente durante el período crítico, donde la radiación diaria registrada fue menor que la histórica. Esta caída en la radiación, probablemente redujo la tasa de crecimiento de la espiga y, en consecuencia, el número de granos fijados, lo que ayuda a explicar los rendimientos moderados y la falta de respuesta a los tratamientos de manejo.

En síntesis, aunque se esperaba que el rastrojo, el sistema de rotación y el nitrógeno generaran contrastes más marcados en implantación y rendimiento, las condiciones ambientales, especialmente la alta disponibilidad de agua combinada con menor radiación durante el período crítico mitigó o enmascararon los efectos esperados. Esto destaca la fuerte influencia del ambiente sobre la respuesta del maíz y la importancia de considerar la interacción agua–radiación al interpretar los resultados y formular recomendaciones de manejo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aldrich, S., & Leng, E. (1974). *Producción moderna del maíz*. Hemisferio Sur.
- Altamirano, A., da Silva, H., Duran, A., Echevarría, A., Panario, D., & Puentes, R. (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: Tomo 1. Clasificación de suelos*. MAP.
https://descargas.mgap.gub.uy/DGRN/Comunicaciones/carta_de_reconocimiento_de_suelos_Tomo_I.pdf
- Andrade, F. H., Otegui, M. E., & Vega, C. (2000). Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. *Agronomy Journal*, 92(1), 92-97.
<https://doi.org/10.2134/agronj2000.92192x>
- Andrade, F. H., Vega, C., Cirilo, A., & Otegui, M. E. (2023). Determinación del número de granos. En F. H. Andrade, M. E. Otegui, A. G. Cirilo, & S. A. Uhart (Eds.), *Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz* (pp. 107-129). MAIZAR.
https://www.maizar.org.ar/documentos/cultivo%20de%20maiz_version%20digital.pdf
- Andrews, S. (2006). *Crop residue removal for biomass energy production: Effects on soils and recommendations*. USDA.
https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Crop_Residue_Removal_for_Biomass_Energy_Production.pdf
- Asibi, A. E., Chai, Q., & Coulter, J. A. (2019). Mechanisms of nitrogen use in maize. *Agronomy*, 9(12), Artículo e775. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120775>
- Baethgen, W. E. (1996). *El nitrógeno en los sistemas agrícola-ganaderos*. En A. Morón, D. Martino, & J. Sawchik (Eds.), *Manejo y fertilidad de suelos* (pp. 9-22). INIA. <https://inia.uy/sites/default/files/publications/2025-03/st-76-1996.pdf>
- Batidzirai, B., Valk, M., Wicke, B., Junginger, M., Daioglou, V., Euler, W., & Faaij, A. P. C. (2016). Current and future technical, economic and environmental potential of crop residues for bioenergy in Europe. *Biomass and Bioenergy*, 92, 106-129. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.06.010>
- Belén, I., García, N., & Lusiardo, J. (2023). *Efecto del sistema de rotaciones y/o retiro de residuos sobre el rendimiento de maíz y sorgo* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.
- Belloso, C. (2002). El maíz, la rotación en siembra directa y su aporte a la sustentabilidad. En E. Satorre (Ed.), *Guía Dekalb del cultivo de maíz* (pp. 77-80). Dekalb.
- Bonelli, L., Cerrudo, A., & Andrade, F. (2023). Densidad de plantas. En F. H. Andrade, M. E. Otegui, A. G. Cirilo, & S. A. Uhart (Eds.), *Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz* (pp. 145-173). MAIZAR.
https://www.maizar.org.ar/documentos/cultivo%20de%20maiz_version%20digital.pdf
- Boschi, F. (2019). ¿Va a sembrar maíz? conozca el cultivar que quiere producir. *Revista del Plan Agropecuario*, (171), 66-67.
https://planagropecuario.org.uy/uploads/magazines/articles/186_2879.pdf

- Cantarero, M. G., Luque, S. F., & Rubiolo, O. J. (2000). Efecto de la época de siembra y la densidad de plantas sobre el número de granos y el rendimiento de un híbrido de maíz en la región central de Córdoba (Argentina). *AgriScientia*, 17, 3-10. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v17.n0.2619>
- Dabalá, L. (2009). *Guía de siembra directa*. MGAP; AUSID. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/guia_de_siembra_directa.pdf
- Ekboir, J. (2001). Sistemas de innovación y política tecnológica: Siembra directa en el MERCOSUR. En R. Díaz Rossello (Coord.), *Siembra directa en el Cono Sur* (pp. 1-18). PROCISUR.
- Fassio, A., Carriquiry, A. I., Tojo, C., & Romero, R. (1998). *Maíz: Aspectos sobre fenología*. INIA. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2025-10/INIA-ST-101-1998.pdf>
- Fillat, J., & Vera, M. (2023). *Efecto de diferente intensidad del uso del suelo sobre propiedades del suelo y la producción de sorgo silero* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/46440/1/FillatJos%C3%a9Juan.pdf>
- Giménez, L. (2012). Producción de maíz con estrés hídrico provocado en diferentes etapas de desarrollo. *Agrociencia (Uruguay)*, 16(2), 92-102. <https://doi.org/10.31285/AGRO.17.544>
- Hall, A. J., Vilella, F., Trapani, N., & Chimenti, C. A. (1982). The effects of water stress and genotype on the dynamics of pollen-shedding and silking in maize. *Field Crops Research*, 5, 349-363. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(82\)90036-3](https://doi.org/10.1016/0378-4290(82)90036-3)
- Martino, D. (2001). Secuestro de carbono atmosférico: ¿Un nuevo ingreso para los agricultores del Cono Sur? En R. Díaz Rossello (Coord.), *Siembra directa en el Cono Sur* (pp. 55-66). PROCISUR.
- Morón, A. (2001). El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. En R. Díaz Rossello (Coord.), *Siembra directa en el Cono Sur* (pp. 387-405). PROCISUR.
- Otegui, M. E. (2023). Desarrollo del cultivo. En F. H. Andrade, M. E. Otegui, A. G. Cirilo, & S. A. Uhart (Eds.), *Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz* (pp. 51-70). MAIZAR. https://www.maizar.org.ar/documentos/cultivo%20de%20maiz_version%20digital.pdf
- Pizzanelli, M. (2024). Maíz y sorgo: Análisis de tendencias y oportunidades. En *Anuario OPYPA 2024*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuarioopypa2024/CP/10/CP10web/CP10-Maizysorgositucion.pdf>
- Potter, K. N., Torbert, H. A., & Morrison, J. E., Jr. (1995). Tillage and residue effects on infiltration and sediment losses on Vertisols. *Transactions of the ASAE*, 38(5), 1413-1419. <https://doi.org/10.13031/2013.27965>

- Rodríguez Padrón, R. A., Cánepa, P., Burgos, M., & Echeveste Martinol, G. (2017). Necesidades hídricas y programación de riego en los cultivos de maíz, soya y sorgo en la localidad de Salto, Uruguay. *Acta Iguazú*, 6(1), 23-32. <https://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/16557/11207>
- Tibugari, H., Chiduza, C., Mashingaidze, A. B., & Mabasa, S. (2021). Incorporated sorghum residues reduce emergence and seedling growth of some crops. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 48(2), 97-107. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v48i2.2298>
- United States Department of Agriculture, & Natural Resources Conservation Service. (2011). *Assessment of the effects of conservation practices on cultivated cropland in the Ohio-Tennessee River Basin*. <https://www.nrcs.usda.gov/publications/ceap-crop-2012-OH-TN-RiverBasin-full.pdf>
- van Ittersum, M. K., & Rabbinge, R. (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, 52(3), 197-208. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00037-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00037-3)