

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DE RETIRO DE RESIDUOS DE COSECHA EN UNA ROTACIÓN
TRIGO-SORGO-MAÍZ SOBRE LA IMPLANTACIÓN Y RENDIMIENTO DE
CULTIVOS DE VERANO

por

Emiliano DÍAZ ARBOLEYA
Francesca SERRENTINO FERRARO
Juan ERRANDONEA EIRALDI

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2014

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Guillermo Siri-Prieto

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. Javier Coitiño

Fecha: 02 de setiembre de 2014

Autor:

Emiliano Diaz Arboleya

Francesca Serrentino Ferraro

Juan Errandonea Eiraldi

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer en primer lugar a nuestras familias, por el apoyo y la compañía constante.

A nuestros amigos y compañeros de facultad por haber disfrutado y compartido todo este tiempo con nosotros.

A los Ingenieros Guillermo Siri y Oswaldo Ernst por haber acompañado y guiado la realización de este trabajo.

Emiliano, Juan, Francesca

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	4
2.1. ENERGÍA RENOVABLE Y BIOCOMBUSTIBLES.....	4
2.2. EFECTOS DE LA PRESENCIA DE RASTROJO EN SUPERFICIE SOBRE LAS CONDICIONES EDÁFICAS	6
2.2.1. <u>Estado hídrico del suelo</u>	6
2.2.1.1. Infiltración de agua, escurrimiento y humedad de suelo	6
2.2.1.2. Evaporación de agua desde el suelo.....	8
2.2.2 <u>Disponibilidad de nitrógeno</u>	9
2.3. EFECTOS DE LA PRESENCIA DE RASTROJO EN SUPERFICIE SOBRE EL CRECIMIENTO DE LOS CULTIVOS.....	12
2.3.1. <u>Germinación, implantación y crecimiento</u>	12
2.3.2. <u>Rendimiento</u>	14
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	17
3.1. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO	17
3.1.1. <u>Ubicación geográfica del ensayo</u>	17
3.1.2. <u>Características del ensayo</u>	17
3.2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO	18
3.2.1. <u>Definición de los tratamientos</u>	18
3.2.2. <u>Variables evaluadas</u>	20

3.2.3. <u>Procesamiento de los datos</u>	20
3.2.4. <u>Mediciones realizadas</u>	23
3.2.4.1. Mediciones realizadas durante el cultivo	23
3.2.4.2. Cosecha y mediciones post-cosecha	24
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	26
4.1. <u>CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE EL PERÍODO</u> <u>DEL CULTIVO</u>	26
4.1.1. <u>Precipitaciones</u>	26
4.1.2. <u>Temperatura</u>	27
4.2. <u>SORGO</u>	27
4.2.1. <u>Efecto del nivel de retiro de residuos sobre la implantación</u>	27
4.2.2. <u>Efecto del nivel de retiro de residuos sobre el contenido de</u> <u>nitratos en suelo</u>	30
4.2.3. <u>Efecto del nivel de retiro de residuos sobre el índice</u> <u>de área foliar</u>	31
4.2.4. <u>Efecto del nivel de retiro de residuos sobre el rendimiento y</u> <u>peso de grano</u>	33
4.3. <u>MAÍZ</u>	36
4.3.1. <u>Efecto del nivel de retiro de residuos y rotación sobre</u> <u>la implantación</u>	36
4.3.2. <u>Efecto del nivel de retiro de residuos y rotación sobre</u> <u>el contenido de nitratos en suelo, medidos a V6</u>	38
4.3.3. <u>Efecto del nivel de retiro de residuos y rotación sobre</u> <u>el índice de área foliar, medido a floración</u>	39
4.3.4. <u>Efecto del nivel de retiro de residuos y rotación sobre</u> <u>el rendimiento</u>	40
5. <u>CONCLUSIONES</u>	46
6. <u>RESUMEN</u>	47

7. SUMMARY49

8. BIBLIOGRAFÍA.....50

9. ANEXOS.....55

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Cantidad de rastrojo de trigo y porcentaje de cobertura según nivel de retiro de residuos.....	28
2. Componentes de rendimiento en maíz según nivel de retiro de residuos y rotación.....	44
Figura No.	
1. Tratamientos aplicados al sorgo grano.....	19
2. Tratamientos aplicados al maíz.....	19
3. Temperatura media y precipitaciones para una serie histórica y para el período experimental.....	26
4. Implantación de sorgo según nivel de retiro de residuos.....	29
5. Nivel de nitratos en suelo (V6) en parcelas de sorgo según nivel de retiro de residuos.....	30
6. Índice de área foliar de sorgo medido en floración, según nivel de retiro de residuos.....	32
7. Precipitaciones y eventos fenológicos durante el ciclo del cultivo de sorgo.....	33
8. Rendimiento de sorgo según nivel de retiro de residuos.....	34
9. Peso de mil granos de sorgo según nivel de retiro de residuos.....	35
10. Implantación de maíz según nivel de retiro de residuos y rotación.....	36

11. Nivel de nitratos en suelo (V6) en parcelas de maíz según nivel de retiro de residuos y rotación.....	38
12. Índice de área foliar de maíz medido a floración según nivel de retiro de residuos y rotación.....	39
13. Rendimiento de maíz según nivel de retiro de residuos y rotación.....	40
14. Precipitaciones y eventos fenológicos durante el ciclo del cultivo de maíz.....	42

1. INTRODUCCIÓN

El consumo de energía a nivel mundial en los últimos años ha ido aumentando debido a un incremento en las actividades industriales, en el consumo doméstico y en el transporte. En Uruguay, dicho consumo aumentó un 50% en los últimos 35 años, acompañando el crecimiento de la economía durante el mismo período. El petróleo ha sido tradicionalmente la fuente dominante de energía, suministrando entre 50 y 70% de la energía total al consumidor (Martino, 2003).

Según Martino (2003), Texo et al. (2009), la falta de existencia probada de hidrocarburos en nuestro país, provoca una fuerte dependencia energética frente a los países poseedores de este recurso. Debido al aumento del precio de este material, y dadas las elevadas emisiones de dióxido de carbono que se generan al quemar un combustible proveniente del mismo, el interés por diversificar la matriz energética y brindarle mayor participación a fuentes de energía renovables se ha incrementado en el último tiempo. La creciente toma de conciencia a nivel internacional del fenómeno del cambio climático causado, entre otros factores, por la quema de combustibles fósiles y la entrada en vigencia del Protocolo de Kyoto, constituyen una amenaza para cualquier estrategia energética que se base exclusivamente en los combustibles fósiles.

Uruguay tiene un alto porcentaje de su energía (40%) obtenida a partir de fuentes renovables, principalmente hidroelectricidad y biomasa leñosa. Sin embargo, la capacidad de generación hidroeléctrica se encuentra saturada. Nuestro país posee recursos para desarrollar fuentes alternativas de energía que, al contrario de los combustibles fósiles, no requieren de monopolios ni grandes empresas integradas verticalmente y centralizadas geográficamente.

La generación de electricidad a partir de energía eólica, sol, represas hidroeléctricas, o la producción de combustibles líquidos a partir de biomasa (bioetanol y biodiesel) se pueden realizar de forma descentralizada en el territorio, y sin la necesidad de grandes inversiones, siendo altamente compatible con el concepto de desarrollo sostenible (Martino, 2003).

Uno de los debates centrales en torno a los biocombustibles gira alrededor de su posible competencia con la producción de alimentos y su consecuente impacto sobre la seguridad alimentaria de la población mundial: menor disponibilidad y mayor dificultad de acceso (precio) (Ganduglia et al., 2009). En este sentido, una de las principales materias primas que podrían utilizarse para la producción de bioetanol son los residuos de los cultivos tradicionales (trigo, sorgo, maíz) y cultivos energéticos como el sorgo dulce y el switchgrass (*Panicum virgatum*). Sin embargo, utilizar dichas materias primas sin criterios de manejo definidos, niveles de cobertura mínimos, etc., puede ir en contra de la sostenibilidad del sistema. El presente trabajo se enmarca dentro de un experimento de largo plazo, cuya finalidad es evaluar el efecto de diferentes niveles de retiro de residuos de cultivos y el efecto de la inclusión de sorgo dulce en la rotación, sobre el rendimiento y el potencial del recurso suelo.

Los objetivos de este trabajo son estudiar el efecto de diferentes niveles de retiro de residuos de cultivos y el efecto de la inclusión de sorgo dulce en la rotación, sobre la implantación, el contenido de nitratos en suelo y el rendimiento de cultivos de verano.

Las hipótesis planteadas previo a la realización del trabajo 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 menores rendimientos en la rotación que contiene sorgo dulce, 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 dulce), debido a menor mineralización y mayores pérdidas por lixiviación e inmovilización.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ENERGÍA RENOVABLE Y BIOCOMBUSTIBLES

Energía renovable es aquella energía producida y/o derivada a partir de fuentes que se renuevan ilimitadamente (hídrica, solar, eólica) o generada por combustibles renovables (biomasa producida en forma sostenible). En la actualidad, existe interés a nivel mundial y nacional por la diversificación de la matriz energética y la inclusión de este tipo de energías. Según Kreimerman (2012), se está invirtiendo fuertemente para tener una diversificación por lo menos en cinco componentes hacia el 2015: menor cantidad de petróleo, gas natural, energía eólica, biomasa, y agua.

Según Texo et al. (2009), “biocombustibles” es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de biomasa (organismos recientemente vivos o sus desechos metabólicos). Los biocombustibles líquidos más utilizados a nivel mundial son el biodiesel y el bioetanol. El primero, se produce a partir de aceites vegetales de especies como palma africana, higuera, soja, colza, etc., o de grasas de origen animal. El bioetanol, o alcohol de origen vegetal, es producido a partir de materias ricas en azúcares simples o almidón, como son los cultivos caña de azúcar, maíz, sorgo, trigo, cebada.

Los biocombustibles son clasificados como de primera generación y de segunda generación. Para los biocombustibles de primera generación, la materia prima es de procedencia agrícola. Se utilizan las partes alimenticias de las plantas, con alto contenido en almidón, azúcar y aceite. Para los biocombustibles de segunda generación, la materia prima son los residuos agrícolas o forestales compuestos por celulosa. Por ejemplo, paja de trigo, aserrín, tallos y hojas de maíz, hojas y ramas secas de árboles (IICA, 2007).

La utilización de algún tipo de biocombustible líquido permite disminuir la dependencia del petróleo, mejorando la seguridad energética del país. Esto es aún más importante para aquellos países no productores de dicho hidrocarburo, ya que la mayoría de este se encuentra en zonas de alta inestabilidad política y la tendencia de sus precios es al alza. El etanol, al ser un oxigenante de las gasolinas, mejora su octanaje de manera considerable, reduciendo los gases causantes del efecto invernadero. Al ser un aditivo oxigenante, el etanol también reemplaza a aditivos nocivos para la salud humana, como el plomo y el MTBE (metil tert-butyl ether) (IICA, 2007).

Según Hilbert (2013), cuando se plantea el retiro y empleo de residuos de cultivos nos enfrentamos con una nueva exigencia sobre el agroecosistema que debe ser valorado en cada situación en particular. Los cultivos extensivos de gramíneas son potenciales fuentes de materia prima lignocelulósica para producción de energía dada su relativa mayor eficiencia de conversión de la energía solar en compuestos orgánicos. El rastrojo de estos cultivos está compuesto principalmente, por cañas (macollos secos) que tienen una alta relación C/N y una alta proporción de lignina y celulosa en sus tejidos. Parte de este rastrojo podría ser utilizado como materia para la generación de energía, teniendo en cuenta los requerimientos del sistema para mantener sus contenidos de materia orgánica.

Hilbert (2013) agrega que la discusión referente a la recolección y manejo de los rastrojos es muy amplia y compleja por la gran diversidad de escenarios edáficos, de eco-regiones y de sistemas productivos que se implementen en cada situación. Para poder realizar estimaciones que permitan evaluar escenarios alternativos, se podrían emplear modelos de balance similar a los desarrollados para el balance de carbono, agregando un término que considere la necesidad de cobertura. Dicho término debería estimar la cantidad

de rastrojo que es necesario dejar en el campo para evitar pérdidas de agua, reducir los riesgos de erosión y como fuente de materia orgánica. Estas necesidades variarán además, con la región considerada.

A pesar de que varios trabajos proponen la remoción directa de una proporción del rastrojo, esta práctica presenta riesgo e incertidumbre en términos de sustentabilidad (cobertura, descenso de la materia orgánica, pérdida la estabilidad estructural, aumento de los riesgos de erosión, pérdida de fertilidad química). Debe seguirse evaluando y profundizar permanentemente los balances energéticos, los costos de oportunidad del uso de las fuentes alternativas y su relación costo/beneficio integral para cada etapa (recolección, logística, transformación y reincorporación al sistema) (Hilbert, 2013).

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

2.2.1. Estado hídrico del suelo

2.2.1.1. Infiltración de agua, escurrimiento y pérdida de suelo por escurrimiento

Según la bibliografía revisada, la presencia de rastrojo en superficie genera una mejora en el estado hídrico del suelo, incrementando la acumulación de precipitaciones en el perfil. Este aumento en las entradas de agua al suelo está explicado por varios motivos. En primer lugar, dada la protección de la superficie del suelo generada por el rastrojo, la cual reduce el impacto de la gota de lluvia, manteniendo la estructura de la superficie del suelo. Por otra parte, el rastrojo representa una barrera física en contra del escurrimiento superficial favoreciendo la infiltración (Smika y Unger, 1986).

Mannering y Meyer, citados por Smika y Unger (1963) indican que un suelo franco limoso desnudo alcanza a perder 26,9 tt/ha mientras que con 0,6 y 1,1 tt/ha de residuos sobre la superficie, los valores de pérdida de suelo pasarían a ser 6,7 y 2,2 tt/ha respectivamente.

Marelli (1995) encontró que la infiltración de agua en un suelo sin cobertura es menor que en suelos con cobertura por rastrojo, alcanzando un mismo valor para suelos con 4 y 8 ton/ha de rastrojo de trigo. Encontró también que el escurrimiento superficial es mayor en un suelo sin cobertura, y de igual magnitud en suelos con 4 y 8 ton/ha de rastrojo. Acerca de las pérdidas de suelo en el escurrimiento, estas son mayores para un suelo sin cobertura, seguido por el suelo con 4 ton/ha de rastrojo, y el menor valor se obtiene con 8 ton/ha de rastrojo. Por lo tanto, el autor afirma que la cobertura superficial del suelo controla la erosión e incrementa la infiltración, con la consiguiente recarga hídrica del perfil.

Greb et al., citados por Unger (1978), encontraron que la acumulación de agua de lluvia en el suelo, se incrementa de 16% sin cobertura del suelo a 37% con 6,7 tt/ha de materia seca de cobertura.

Conservar la humedad del suelo es una de las mayores ventajas de los sistemas de coberturas sobre la superficie del mismo. Dichas coberturas protegen el suelo de la erosión hídrica reduciendo el impacto de la gota de agua de lluvia. Una cobertura parcial del suelo con residuos puede afectar fuertemente la dinámica de escurrimiento, reduciendo su cantidad (Findeling et al., Rees et al., citados por Nagaya Mulumba y Lal, 2008).

2.2.1.2. Evaporación de agua desde el suelo

Según estudios realizados por Bond y Willis, citados por Smika y Unger (1986), pequeñas cantidades de residuos vegetales sobre la superficie del suelo, disminuyen la evaporación en el primer período posterior al evento de precipitación, mediante el incremento de la resistencia del flujo de agua desde la superficie del suelo hacia la atmósfera. En primer lugar, la presencia de residuos hace que la temperatura de la superficie del suelo sea menor, disminuyendo el pasaje de agua en estado líquido a vapor. Por otro lado, la presencia de rastrojo incrementa el espesor de la capa de aire no-turbulenta sobre la superficie, lo que disminuye el transporte de vapor a partir del suelo.

Smika, citado por Smika y Unger (1986) demuestra en condiciones de campo que la misma cantidad de residuos en superficie, pero en distintas posiciones resulta en diferentes cantidades de pérdida de agua desde el suelo por evaporación. Al aumentar la cantidad de rastrojo en posición vertical en comparación con el rastrojo plano o a nivel de superficie, se necesita mayor velocidad del viento para iniciar las pérdidas de agua. Esto muestra que la menor velocidad del viento en la superficie del suelo por la presencia de rastrojo vertical es un factor fundamental en reducir la evaporación y por lo tanto, aumentar la cantidad de agua almacenada en el suelo.

Como conclusión se puede afirmar que la presencia de rastrojos en superficie mejora la condición hídrica del suelo por dos vías: incrementando las entradas de agua por infiltración y reduciendo las pérdidas de agua por evaporación.

Según Ernst (s.f.), los suelos con cobertura de rastrojo presentan una amplitud térmica menor que los laboreados, por lo que ganan y pierden calor

más lentamente. Para situaciones sin laboreo, el efecto depende de la cantidad y geometría del rastrojo.

La menor temperatura del suelo cubierto por rastrojo al inicio de la estación de crecimiento condiciona la velocidad de emergencia e implantación final. Para gramíneas, una vez superada la etapa en que el punto de crecimiento se ubica por debajo del suelo (V6 en sorgo y maíz), la temperatura de referencia pasa a ser la del aire, por lo que no serían de esperar efectos posteriores (Ernst, s.f.).

En un estudio en que se compararon los tratamientos sin residuo, con residuo de raíces de trigo, con residuo de raíces y tallos (9 ton/ha), este último tratamiento tuvo menores temperaturas de suelo que los otros dos tratamientos, para los tres años de evaluación (Kravchenko y Thelen, 2007).

Considerando los efectos sobre el estado hídrico del suelo y sobre la temperatura del mismo, la importancia relativa de la presencia del rastrojo en superficie dependerá de las características climáticas de cada región. En este sentido, Wang et al. (2011) indican que cuando el aporte hídrico en una región es limitante, es recomendable el mantenimiento de los residuos en superficie, mientras que cuando la limitante climática son las bajas temperaturas al inicio de la estación de crecimiento, la presencia de rastrojo en superficie puede generar perjuicios en el crecimiento inicial de los cultivos.

2.2.2 Disponibilidad de nitrógeno

Según Perdomo y Barbazán (s.f.), el balance de nitrógeno en el suelo es el resultado de la ocurrencia de procesos de ganancia (mineralización,

nitrificación) y pérdida de nitrógeno (lixiviación, desnitrificación, volatilización). La presencia de rastrojo en superficie podría tener un efecto indirecto en dicho balance, modificando la temperatura y el contenido de agua del suelo.

Dentro de los procesos de ganancia, la amonificación (pasaje de nitrógeno orgánico a amonio) aumenta al aumentar el contenido de humedad del suelo, ocurriendo incluso en condiciones de anegamiento, debido a que es realizado por microorganismos tanto aeróbicos como anaeróbicos. En cuanto a la temperatura, al disminuir la temperatura del suelo, se reduce la amonificación. El rango óptimo para este proceso es de 40-60°C. La nitrificación (pasaje de amonio a nitrato) ocurre en un rango de humedad más estrecho que la amonificación, y no ocurre en anaerobiosis. En cuanto a la temperatura, la óptima corresponde a 30°C.

Dentro de los procesos de pérdida, el principal afectado por la presencia de rastrojo es la lixiviación, pues al aumentar la cantidad de agua que infiltra en relación a la que escurre, aumenta la probabilidad de lavado (Perdomo y Barbazán, s.f.).

La inmovilización de nitrógeno por parte de los microorganismos es otro de los procesos dentro de la dinámica de este nutriente que se ve afectado por la presencia de rastrojo. Este proceso, junto con la mineralización (amonificación+nitrificación) generan un balance que dependerá de la calidad del residuo. Materiales con relación C/N mayores a 33/1 generalmente van a producir una inmovilización neta de nitrógeno, mientras que materiales con relación C/N inferiores a 15/1 generarán mineralización neta, incrementando el nitrógeno disponible en el suelo (Perdomo y Barbazán, s.f.).

Kravchenko y Thelen (2007) comparando tres niveles de residuos (sin residuo, con residuo de raíces, con residuo de raíces y tallos en superficie), encontraron que los niveles de nitrógeno en suelo fueron mayores en el tratamiento sin residuo comparado con los otros dos tratamientos. Esto es explicado por los autores por dos motivos: el primero, debido a la mayor temperatura del suelo en el tratamiento sin residuo, que aumenta la mineralización de la materia orgánica. El segundo, por la inmovilización de nitrógeno por los microorganismos, debido a la alta relación carbono/nitrógeno del residuo del trigo.

Schomberg et al., citados por Morón (2001) compararon la descomposición y la dinámica del nitrógeno en diferentes rastrojos, en la localidad de Texas. La lenta descomposición de los rastrojos en superficie resulta en un gran potencial para inmovilizar nitrógeno por largos períodos. La principal explicación para esta tendencia está dada por el hecho de que los rastrojos en superficie se encuentran en microambientes de descomposición más desfavorables que cuando son enterrados. Los rastrojos en superficie tienden a favorecer relativamente el desarrollo de los hongos frente a las bacterias (Schomberg et al., Cochran et al., Guggenberger et al., citados por Morón, 2001). Los hongos, a pesar de tener una concentración de nitrógeno inferior que las bacterias en sus células, inmovilizan más nitrógeno debido a la alta eficiencia de conversión del carbono del substrato en carbono microbiano. Por tanto, los rastrojos en superficie como ocurre en los sistemas de siembra directa además de producir ritmos de descomposición más lentos, también promoverán altos niveles de inmovilización de nitrógeno (Morón, 2001).

2.3. EFECTOS DE LA PRESENCIA DE RASTROJO EN SUPERFICIE SOBRE EL CRECIMIENTO DE LOS CULTIVOS

2.3.1. Germinación, implantación y crecimiento

Según la bibliografía revisada, los efectos del rastrojo en el crecimiento de los cultivos son explicados a través de las modificaciones que el mismo genera en 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), lo que podría potencialmente afectar el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Estos efectos son atribuidos principalmente a una reducción en las temperaturas del suelo en donde se ubican las semillas (Bidlake et al., Bussibre y Cellier, citados por Kumar y Goh, 2000).

En el mismo sentido, Hoefler et al. (1981), en la localidad de Nebraska encontraron que un mes después de la siembra de maíz sobre rastrojo de trigo, la altura del maíz fue significativamente menor que en parcelas en que el rastrojo de trigo había sido removido al momento de la siembra del cultivo de verano. El crecimiento probablemente haya sido menor debido a menores temperaturas de suelo cuando el rastrojo estuvo presente. Sin embargo el rendimiento de maíz fue significativamente mayor en aquellas parcelas en que permaneció el rastrojo de trigo. Este incremento puede haberse debido a una reducción en la evaporación y a incrementos en la infiltración del agua de lluvia, resultando en mayor disponibilidad de agua y favoreciendo los incrementos de rendimiento.

Prácticas de laboreo que dejan residuos de cultivos en la superficie del suelo causan reducciones significativas en la temperatura del mismo (Van Doren y Allmaras, Gupta et al., citados por Fortin y Pierce, 1991), que acompañan retrasos en el desarrollo del maíz cuando se compara con prácticas de laboreo convencional (Mock y Erbach, Al-Darby y Lowery, Swan et al., citados por Fortin y Pierce, 1991). Al reducir la temperatura del suelo, disminuye la tasa de división celular en el ápice meristemático durante el período en que este se encuentra debajo de la superficie, el cual finaliza cuando se da la completa extensión de la sexta hoja (Fortin y Pierce, 1991).

Por otra parte, Wicks et al. (1994) indican que en un experimento en Nebraska, en que se probaron 5 niveles de cobertura del suelo por residuos de trigo, se encontró que el porcentaje de humedad del grano de maíz a cosecha se incrementó al incrementarse el nivel de cobertura del suelo, indicando un retraso en la maduración del cultivo. En relación a esto, una de las posibles ventajas en situaciones de suelo sin cobertura sería la cosecha más temprana y con menor humedad en el grano. Las menores temperaturas de suelo bajo cobertura reducen la velocidad de desarrollo del maíz durante los estados vegetativos tempranos, retrasando la floración y maduración.

En relación a la mejora del estado hídrico del suelo por la presencia de rastrojo, Triplett, Onderdonk y Ketcheson, citados por Wicks et al. (1994) indican que la altura del maíz después de floración aumenta en la medida que aumenta el nivel de cobertura del suelo, dadas las mejores condiciones de humedad que permitirán mayor elongación de los internodos, aumentando la altura de tallo.

2.3.2. Rendimiento

En las últimas décadas, muchos investigadores han estudiado el efecto de las distintas prácticas de manejo de los residuos en los rendimientos del cultivo subsiguiente. Muchos factores se ven involucrados en este proceso: calidad de los residuos, manejo aplicado, factores edáficos, sanidad de los cultivos previos. Esto indica que no habrá un único manejo más adecuado para todas las situaciones (Kumar y Goh, 2000).

En condiciones de baja humedad y altas temperaturas durante la estación de crecimiento, residuos en superficie permitieron alcanzar mayores rendimientos (Dao, Tian et al., Lafond et al., citados por Kumar y Goh, 2000) por mayor conservación de agua, menor evaporación (Hatfield y Prueger, Prihar et al., citados por Kumar y Goh, 2000) y temperaturas de suelo más favorables para el crecimiento radicular, (Chaudhq y Prihar, Maurya y Lal, citados por Kumar y Goh, 2000), con una mejora en los procesos biológicos (Hatfield y Prueger, 1996) y un incremento en la mineralización de nitrógeno (Tian et al., citados por Kumar y Goh, 2000), en comparación con los manejos de retiro de residuos, quema o incorporación de los mismos.

En regiones semiáridas, la presencia de una cobertura durante la estación de crecimiento permitiría incrementar los rendimientos de cultivos, mediante la conservación de humedad en el suelo. En este sentido, Unger y Jones, citados por Wicks et al. (1994), indican que en el sur de las Grandes Planicies, la retención de una cobertura de trigo en la superficie del suelo durante la estación de crecimiento del sorgo, incrementó el rendimiento en grano de este último en un 9, 10 y 11% con 2, 4 y 8 ton/ha de rastrojo respectivamente, en comparación con un suelo sin rastrojo. Hoefler et al., citados por Wicks et al. (1994) indican que un maíz cubierto con rastrojo de trigo

rindió 17% más que un maíz al que se le retira el rastrojo del trigo al momento de su siembra.

Unger (1978), en un estudio que compara distintos niveles de cobertura del suelo con paja de trigo (0, 1, 2, 4, 8, 12 ton/ha) en el sur de las grandes planicies, encontró que los rendimientos de sorgo se incrementan para el tratamiento con 12 ton/ha de paja de trigo, pero los beneficios en este nivel no son significativamente distintos en comparación con aquellos obtenidos bajo el nivel de 8 ton/ha ($p < 0,05$). Estos últimos dos tratamientos resultaron en rendimientos en grano promedio de más del doble de aquellos obtenidos en el control sin cobertura, e incrementos significativos en comparación con los niveles 1, 2 y 4 ton/ha de paja de trigo. Los incrementos en rendimiento a medida que aumenta el nivel de cobertura es justificado por el autor debido a un aumento en el contenido de agua en el suelo por mayor infiltración y menor evaporación durante la estación de crecimiento.

Frey, Tollenaar y Daynard, citados por Wicks et al. (1994) establecen que el rendimiento en grano está más correlacionado con el número de granos ($r=0,95$) que con el peso de los mismos ($r=0,75$). En un experimento realizado en Nebraska, en el que prueban cinco niveles de cobertura por rastrojo de trigo y su influencia en el cultivo siguiente de maíz, se encontró que el rendimiento en grano y el número de granos alcanzan su máximo teórico en el nivel de cobertura de 4,4 ton/ha, (el máximo nivel de cobertura probado fue de 6,8 ton/ha) en promedio para todas las localidades (Wicks et al., 1994).

Las investigaciones mencionadas anteriormente discuten acerca de los efectos en el rendimiento de los cultivos dados por cambios en la temperatura y humedad de suelo. Kumar y Goh (2000) agregan la disponibilidad de nitrógeno como otro factor que puede influir en los rendimientos. En este sentido, estos

autores indican que residuos de alta relación C/N, altos contenidos de lignina y polifenoles, son conocidos por provocar inmovilización de nitrógeno inorgánico, resultando en un menor consumo de nitrógeno por parte del siguiente cultivo y menores rendimientos (Bahl et al., Carefoot et al., Beri et al., citados por Kumar y Goh, 2000).

En resumen, para todos los trabajos presentados anteriormente, la presencia de rastrojo en superficie mejoró los rendimientos de los cultivos, principalmente explicado por una mayor acumulación de agua en el perfil. Sin embargo algunos trabajos indican que con altos niveles de rastrojo en superficie los rendimientos podrían descender.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

3.1.1. Ubicación geográfica del ensayo

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni ubicada en la ruta 3 km 363, departamento de Paysandú. El ensayo se realizó en el potrero 31 (coordenadas geográficas: latitud: 32°22'45.14"S, longitud: 58° 3'45.89"O) en el periodo comprendido entre los meses de noviembre de 2012 y abril del 2013.

Según la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay (Altamirano et al., 1976, escala 1:1.000.000), el ensayo se encuentra ubicado dentro de la unidad San Manuel, siendo los suelos predominantes Brunosoles Eutricos Típicos Fr. La pendiente promedio de la fracción es de 1-1.5%.

3.1.2. Características del ensayo

El ensayo comenzó con la siembra de maíz el 5 de noviembre de 2012. Para la preparación del barbecho se aplicó glifosato y 2,4D el 24 de setiembre. La densidad de siembra fue de 80.000 semillas/ha, con una distancia entre hileras de 50 cm. El cultivar utilizado fue Dow 2M545 HX. El mismo día de la siembra se realizó aplicación de glifosato y atrazina.

La siembra de sorgo grano fue realizada el 13 de noviembre, día en que se cosechó el trigo. La densidad de siembra utilizada fue de 360.000 semillas/ha. El cultivar utilizado fue MS109.

Al momento de la siembra todas las parcelas fueron fertilizadas con 100 kg/ha de 18-46, sin previo análisis de suelo. El 10 de diciembre momento en el cual los cultivos se encontraban en estado V6 se refertilizó con 120 kg/ha de Urea, sin análisis de suelo.

Durante el cultivo de maíz se hizo una aplicación de Basta (glufosinato de amonio) el día 3 de diciembre. Para el sorgo no se realizaron otras aplicaciones.

La cosecha de ambos cultivos fue llevada a cabo el 10 de abril.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

El diseño corresponde a bloques completos al azar, dado que las unidades experimentales se agrupan en tres bloques de acuerdo a la profundidad de suelo (bloqueo por profundidad). Todos los tratamientos se aleatorizan dentro de cada bloque.

Las unidades experimentales fueron 24 parcelas de 5 m de ancho y 30 m de largo, de las cuales 15 corresponden al cultivo de maíz y 9 al cultivo de sorgo.

3.2.1. Definición de los tratamientos

Para el sorgo se evaluó el efecto de tres niveles de retiro de residuos.

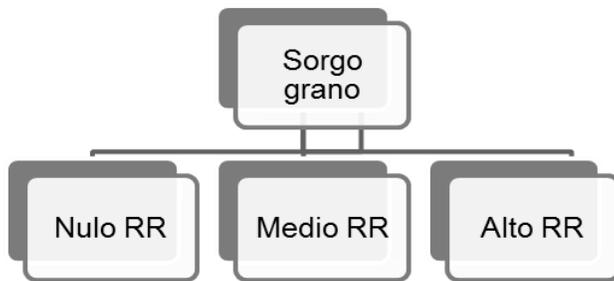


Figura No. 1. Tratamientos aplicados al sorgo grano

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

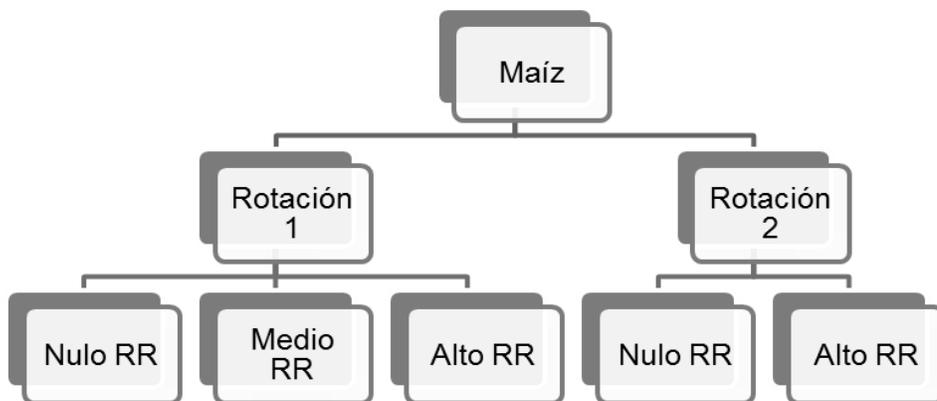


Figura No. 1. Tratamientos aplicados al maíz

La rotación 1 correspondió a trigo/sorgo grano – barbecho/maíz

La rotación 2 correspondió a trigo/sorgo dulce – barbecho/maíz

Los niveles de retiro de residuos fueron los siguientes:

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

Como se observa en la figura anterior, en la rotación 2 únicamente se probaron los niveles nulo y alto de retiro de residuos. Esto se explica debido principalmente a una limitante espacial, que llevó a que se eliminara el tratamiento intermedio para dicha rotación.

Debido a que la rotación comenzó en el año 2008, tanto el efecto retiro de residuos como el efecto rotación para el año en estudio, corresponden a un efecto acumulado durante cuatro años.

3.2.2. Variables evaluadas

En el cultivo de sorgo, se evaluaron las variables implantación, nitratos en suelo a V6, índice de área foliar, rendimiento en grano y peso de 1000 granos.

Para maíz, las variables evaluadas fueron implantación, nitratos en suelo a V6, índice de área foliar, plantas/m², mazorcas/planta, granos/mazorca, rendimiento en grano y peso de 1000 granos.

3.2.3. Procesamiento de los datos

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

Modelo:

$$Y_{ij} = \mu + RR_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} , el rendimiento del cultivo

μ , la media general

RR_i , el efecto del nivel de retiro de residuos

β_j , el efecto del j-ésimo bloque

ε_{ij} , el error experimental

i: 1, 2, 3

j: 1, 2, 3

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
- $\varepsilon_{ij} \sim N$
- $E(\varepsilon_{ij}) = 0$ para todo i, j
- $V(\varepsilon_{ij}) = \sigma^2$ 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 maíz el modelo fue el correspondiente a un diseño en bloques completos al azar, con un factorial de 2x2 con un tratamiento adicional.

Modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + ROT_i + RR_j + ROT_i*RR_j + \beta_k + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} , el rendimiento del cultivo

μ , la media general

ROT_i , el efecto de la rotación

RR_j , el efecto del nivel de retiro de residuos

$ROT*RR_j$, el efecto de la interacción rotación*nivel de retiro de residuo

β_j , el efecto del j-ésimo bloque

ε_{ijk} , el error experimental

i: 1, 2

j: 1, 2 o 3 según cultivo

k: 1, 2, 3

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
- $\varepsilon_{ij} \sim N$
- $E(\varepsilon_{ij}) = 0$ para todo i, j
- $V(\varepsilon_{ij}) = \sigma^2$ 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.

El análisis de los datos se realizó mediante el software Infostat (Di Rienzi et al., 2013).

3.2.4. Mediciones realizadas

3.2.4.1. Mediciones realizadas durante el cultivo

Cobertura de rastrojo

El nivel de cobertura se midió utilizando dos métodos: porcentaje de cobertura y peso de materia seca de rastrojo. Para el primer caso se midieron 20 metros lineales diagonalmente en cada parcela. La dinámica consistió en relevar cada 5 cm la presencia o ausencia de rastrojo exclusivamente de trigo, obteniéndose así 400 datos por parcela, los cuales se llevaron a porcentaje de cobertura del suelo por rastrojo. Para el segundo caso se utilizaron cuadros de 30x30 cm los cuales se lanzaron al azar dentro de las parcelas, retirándose la totalidad del rastrojo contenido en el mismo. Dicha medición fue repetida un total de tres veces en cada unidad experimental. El total de rastrojo obtenido por parcela se pesó en laboratorio obteniéndose resultados de materia seca de rastrojo por hectárea.

Implantación

Para medir la implantación se contaron las plantas emergidas en 10 metros lineales de las dos hileras centrales, en todas las parcelas.

Muestreo de nitratos en suelo

Cuando los cultivos alcanzaron el estado fenológico V6, utilizando caladores, se tomaron 5 muestras al azar por parcela de los primeros 20 cm de suelo, las cuales se mezclaron en una misma bolsa y se desagregaron. Posteriormente se realizó el análisis de dichas muestras con el objetivo de evaluar contenido de nitratos para la posterior fertilización nitrogenada.

Índice de área foliar (IAF)

Para la medición del IAF se utilizó un ceptómetro modelo LAI- 2000 Plant Canopy Analyzer. Esta medición se realizó en cada cultivo en el estado de floración.

3.2.4.2. Cosecha y mediciones post-cosecha

El número y tipo de mediciones realizadas al momento de la cosecha de los cultivos dependió de la especie en cuestión. Para todos los casos los datos fueron tomados de una porción de las parcelas que se consideró representativa de los tratamientos aplicados. Así, se procedió a la cosecha de 10 metros lineales (5 m^2) de cada unidad experimental, procurando no incluir nunca las plantas ubicadas en los bordes de las parcelas.

Para el caso del maíz durante la cosecha se tomó el número de plantas cosechadas, y el número total de mazorcas. Posteriormente se tomó el peso total de granos (estimador del rendimiento por hectárea) y por último en el laboratorio se estimó el peso de grano, a través del promedio de 3 muestras de 100 granos por "lote". Por último se realizó la medición del porcentaje de humedad de los granos al momento de la cosecha, utilizándose para este propósito un humidímetro.

En el sorgo granífero se estimó el rendimiento en base a las panojas cosechadas en los 10 metros lineales, y el peso de grano en base a tres mediciones de 100 granos por parcela. Los rendimientos se corrigieron por humedad (13%) y por el daño causado por pájaros en base a la estimación subjetiva del mismo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE EL PERÍODO DEL CULTIVO

El gráfico No. 1 muestra las temperaturas medias y precipitaciones mensuales para el período experimental. A modo de comparación se utiliza una serie histórica de datos para cada variable. Los datos fueron obtenidos de la estación meteorológica ubicada en la EEMAC.

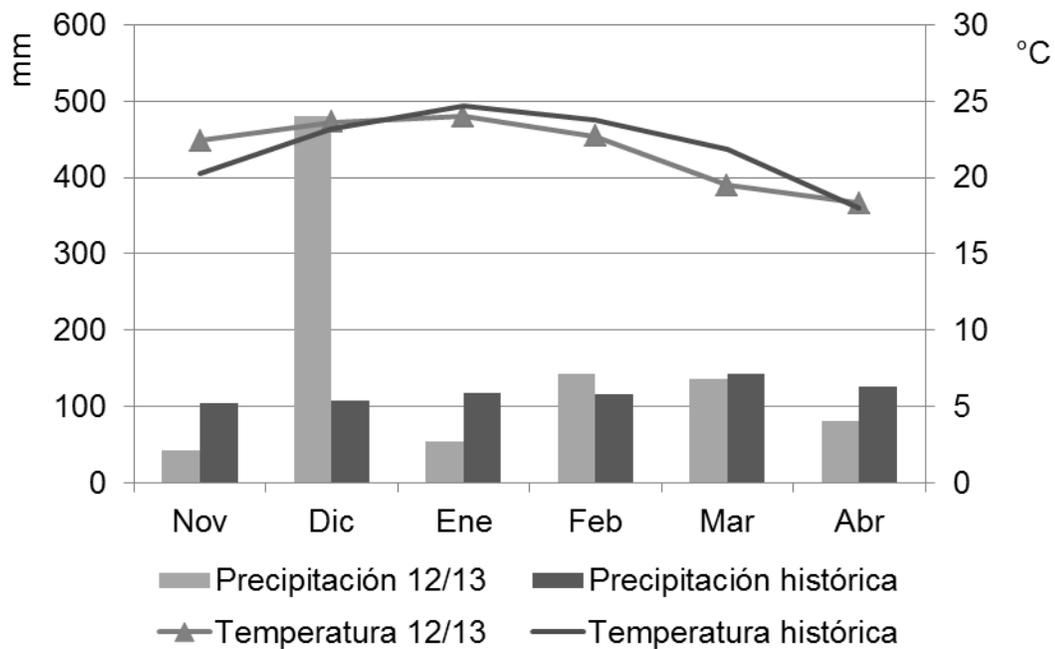


Figura No. 2. Temperatura media y precipitaciones para una serie histórica y para el período experimental

4.1.1. Precipitaciones

El total de precipitaciones en el período experimental fue de 856 mm, aproximadamente un 20% más que el total proveniente de la serie histórica,

715 mm. Esto indica que en el total del período analizado, la disponibilidad hídrica fue relativamente buena. Sin embargo la distribución de las precipitaciones ocurridas no fue homogénea, existiendo exceso de precipitaciones en el mes de diciembre (479 mm) y déficit en meses como noviembre (42 mm) y enero (53 mm). Es probable que este déficit haya perjudicado a los cultivos en su crecimiento inicial y en la generación de su rendimiento durante los períodos críticos, los cuales ocurrieron aproximadamente entre los días 20 de diciembre y 10 de enero para el maíz, y 8 de enero y 8 de febrero para el sorgo. Acerca de las precipitaciones en el mes de diciembre, al ser estas abundantes sería de suponer un perfil recargado al comienzo del mes de enero. Sin embargo, el 43% de las precipitaciones ocurrieron durante los días 6 y 7 del mes, por lo que se estima que al final del mismo, considerando las elevadas demandas diarias, el perfil no se encontraría saturado por dicho volumen de agua.

4.1.2. Temperatura

En cuanto a la temperatura, se puede observar que el año en estudio se comportó de forma similar a la serie histórica, pero algo más cálido en noviembre y más frío en febrero-marzo. Sin embargo las magnitudes de estas diferencias no se consideran tan grandes como para afectar los procesos fisiológicos que se dan en dichas etapas.

4.2. SORGO

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. A

continuación se presentan las diferencias en porcentaje de cobertura y cantidad de rastrojo en superficie, para los distintos tratamientos.

Cuadro No. 1. Cantidad de rastrojo de trigo y porcentaje de cobertura según nivel de retiro de residuos.

Nivel de retiro	Rastrojo (tt/ha)	Cobertura (%)
Nulo	3,72 a	90,25 a
Medio	2,37 b	79,67 b
Alto	1,41 c	74,25 b
DMS	0,907	8,707

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,10$)

Como puede observarse se encontraron mayores diferencias entre peso de rastrojo que entre porcentajes de cobertura. En los niveles altos de retiro de rastrojo, a pesar de que se obtuvieron bajas cantidades del mismo (lo cual coincide con lo esperado), los niveles de cobertura fueron relativamente altos. Se considera que cierta proporción de dicha cobertura está explicada por material muy liviano y fino, que no proporcionaría los beneficios buscados por la cobertura.

4.2.1. Efecto del nivel de retiro de residuos sobre la implantación

En la siguiente gráfica se muestran los resultados de implantación según los distintos niveles de retiro de residuos.

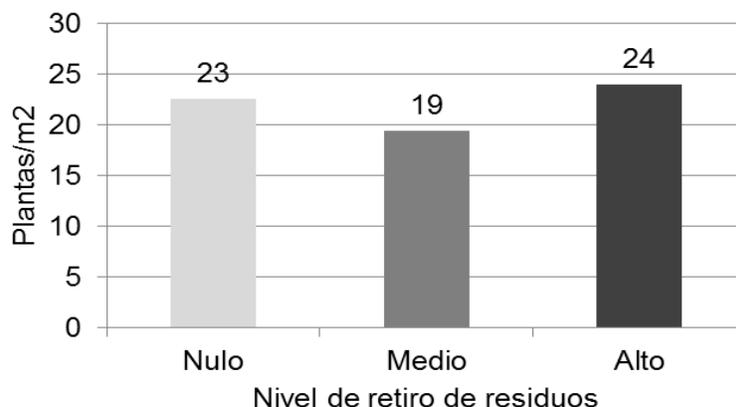


Figura No. 3. Implantación de sorgo según nivel de retiro de residuos

Las diferencias obtenidas entre dichas medias no resultaron estadísticamente significativas. La realización de contrastes ortogonales para detectar diferencias entre el nivel de retiro nulo versus algún nivel de retiro, tampoco evidenció diferencias estadísticamente significativas entre estos grupos.

El número de plantas logradas para todos los tratamientos fue cercano al objetivo (25 pl/m²). Esto puede ser explicado por distintos motivos. En primer lugar, la temperatura óptima para germinación del sorgo se encuentra entre 18 y 21°C la cual es alcanzada a principios de noviembre para nuestras condiciones, momento en el cual fue sembrado el cultivo. A su vez, 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). Según lo anterior, tanto la temperatura como las condiciones hídricas existentes en torno a la siembra no representaron una limitante para la implantación del cultivo. En la bibliografía consultada se encontró que elevadas cantidades de rastrojo pueden afectar la emergencia e implantación de este cultivo. 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. En este experimento no se evidenciaron diferencias significativas en la implantación según las distintas cantidades de rastrojo en superficie, posiblemente debido a que se trata de un cultivo de segunda. Este fue sembrado el mismo día de la cosecha de trigo, por lo que no habría existido tiempo suficiente para que se expresen diferencias entre los distintos tratamientos.

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

La gráfica a continuación muestra los niveles de nitratos en suelo medidos en el estado de V6, para los distintos niveles de retiro de residuos.

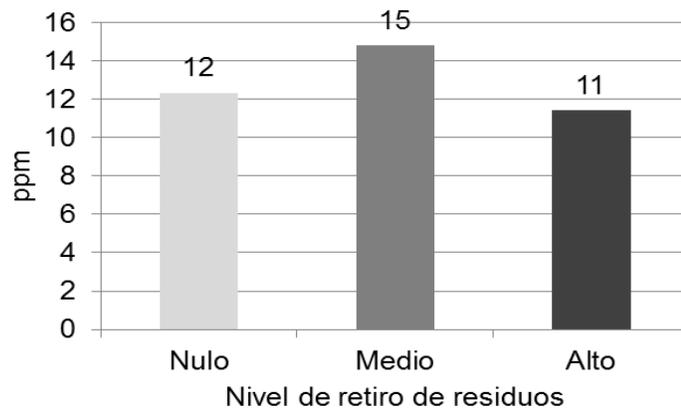


Figura No. 4. Nivel de nitratos en suelo (V6) en parcelas de sorgo según nivel de retiro de residuos

Los niveles de retiro de residuos no generaron diferencias significativas en el contenido de nitratos en suelo a V6. Así mismo, la realización de

contrastos ortogonales tampoco detectó diferencias entre los grupos nulo retiro versus algún retiro. Sin embargo 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 (s.f.) 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.

4.2.3. Efecto del nivel de retiro de residuos sobre el índice de área foliar, medido en floración

La gráfica a continuación muestra cómo se comportó el índice de área foliar según los distintos niveles de retiro de residuos. Dicho valor corresponde al período de floración del cultivo.

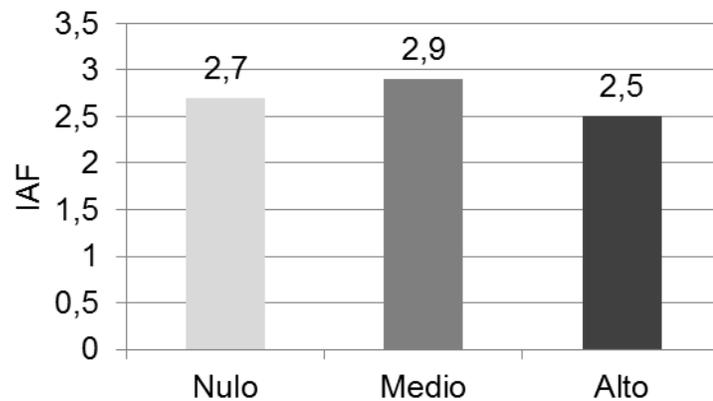


Figura No. 5. Índice de área foliar de sorgo medido en floración, según nivel de retiro de residuos

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el índice de área foliar del cultivo medido a floración, para los distintos niveles de retiro de residuos.

Los valores de IAF obtenidos se consideran bajos, comparados con lo encontrado en la bibliografía, que menciona valores de 3,5 (Gardner, 1985) y 4 (Siri, 2004) como valores alcanzables. Astegiano y Pilatti (2003) en un experimento en que plantas de sorgo en estado V8 son sometidas a estrés hídrico en períodos cortos y súbitos, encontraron reducciones tanto en la tasa como en la duración de la expansión foliar de las hojas que se encontraban en expansión durante el estrés, reduciéndose como consecuencia el área final de las mismas. Algo similar puede haber ocurrido en este experimento, debido a que en el mes previo a que se tomaron los datos de IAF el cultivo puede haber estado sometido a períodos de estrés hídrico, por las escasas precipitaciones ocurridas.

4.2.4. Efecto del nivel de retiro de residuos sobre el rendimiento y peso de grano

Previo a la explicación de los resultados obtenidos en rendimiento, se considera importante mostrar la distribución de las precipitaciones ocurridas en los distintos períodos del cultivo, ya que este fue considerado el principal factor limitante de los mismos.

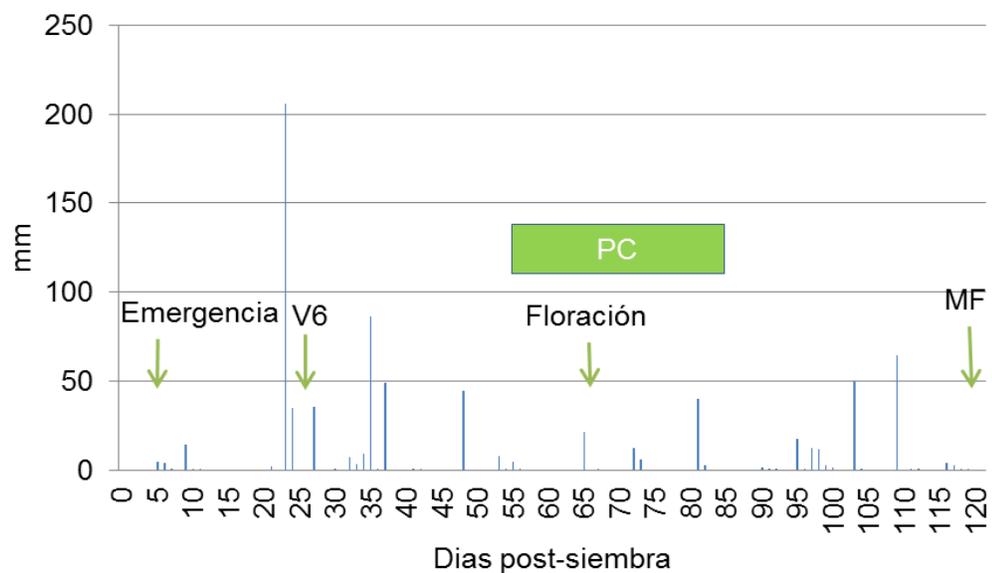


Figura No. 6. Precipitaciones y eventos fenológicos durante el ciclo del cultivo de sorgo

Las precipitaciones aproximadas para cada período fueron:

Emergencia- V6: 294 mm

V6- Inicio período crítico: 214 mm

Período crítico: 83 mm

Fin período crítico- madurez fisiológica: 173,4 mm

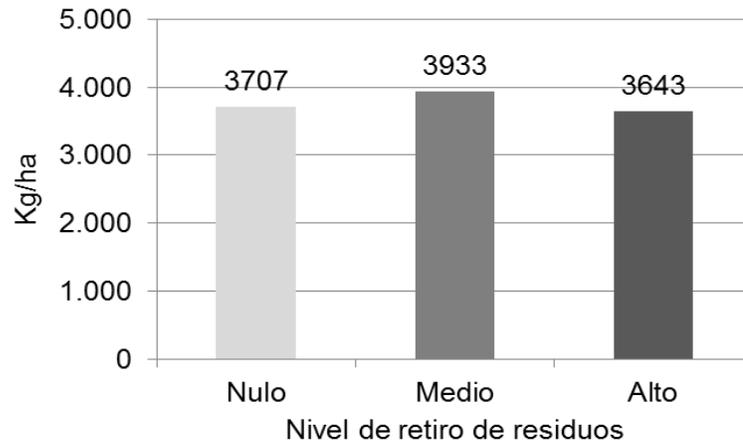


Figura No. 7. Rendimiento de sorgo según nivel de retiro de residuos

Las diferencias encontradas en rendimiento según los distintos niveles de retiro de residuos no fueron significativas.

Durante el período crítico las precipitaciones fueron 83,4 mm, mientras que el cultivo requiere aproximadamente 200-220 mm en dicho período (Rameau y Rosa, 2013). Tomando en cuenta que tanto la implantación como la fertilización a V6 no se consideraron limitantes para el rendimiento, el déficit hídrico mencionado anteriormente podría ser la principal explicación de los bajos rendimientos, comparados con el promedio obtenido de la evaluación nacional de cultivares para el cultivar en estudio (zafra 2005/2006), correspondiente a 6.554 kg/ha.

El índice de área foliar medido en floración fue menor al promedio encontrado en la bibliografía. A través de esto se deduce que el cultivo no se encontró en un estado óptimo para interceptar la máxima radiación incidente y maximizar su tasa de crecimiento en este período.

La obtención de los bajos rendimientos podría explicar en parte la ausencia de diferencias significativas entre los distintos tratamientos imposibilitando la expresión de efectos diferenciales según los distintos niveles de retiro de rastrojo.

En cuanto al peso de grano, sí se encontraron diferencias entre los tratamientos, siendo mayor para el nivel de retiro nulo y disminuyendo a medida que aumentó el mismo.

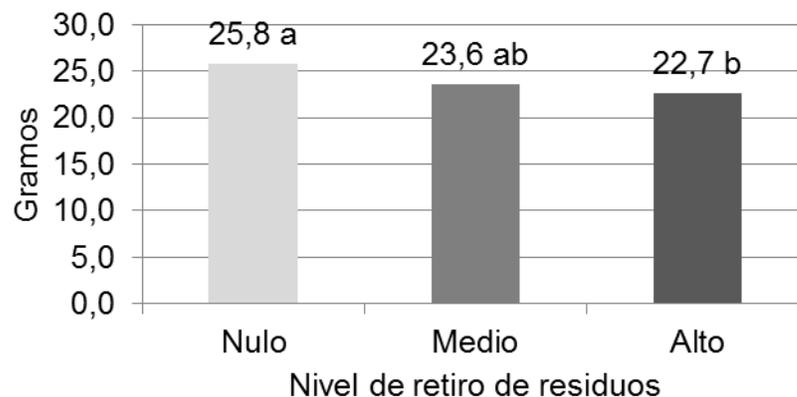


Figura No. 8. Peso de mil granos de sorgo según nivel de retiro de residuos

Es posible que la mayor cantidad de rastrojo en superficie para el tratamiento de nulo retiro haya mantenido el contenido de agua en suelo más estable, teniendo en cuenta que durante el llenado de grano hubo eventos de precipitación relativamente importantes, pero separados por varios días. Esto puede haber provocado un mejor llenado de grano, lo que explicaría las diferencias en peso alcanzadas.

Sin embargo, como se vio anteriormente, estas diferencias en peso de grano no resultaron en diferencias significativas en rendimiento. Al estudiar la

correlación entre estas dos variables no se encontró asociación, lo cual coincide con lo obtenido por Díaz et al. (2011).

4.3. MAÍZ

En el cultivo de maíz, además de evaluarse el efecto del nivel de retiro de residuos se midió el efecto rotación. La rotación 1 corresponde a aquella que presenta sorgo grano, y posee los tres niveles de retiro mencionados anteriormente. La rotación 2 es la que presenta sorgo dulce, y posee únicamente dos niveles de retiro: nulo y alto. A su vez cabe aclarar que para la rotación 2, el tratamiento de retiro nulo no debe interpretarse de la misma manera que el mismo para la rotación 1. Esto se debe a que el “retiro nulo” se aplicará solamente al trigo y al maíz dentro de la rotación, mientras que el sorgo dulce es cosechado en todos los casos retirándose la planta entera. Esto significa que para el cultivo de maíz, el rastrojo presente en la superficie correspondería al rastrojo de trigo del año anterior.

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

La gráfica a continuación muestra los valores medios para cada tratamiento.

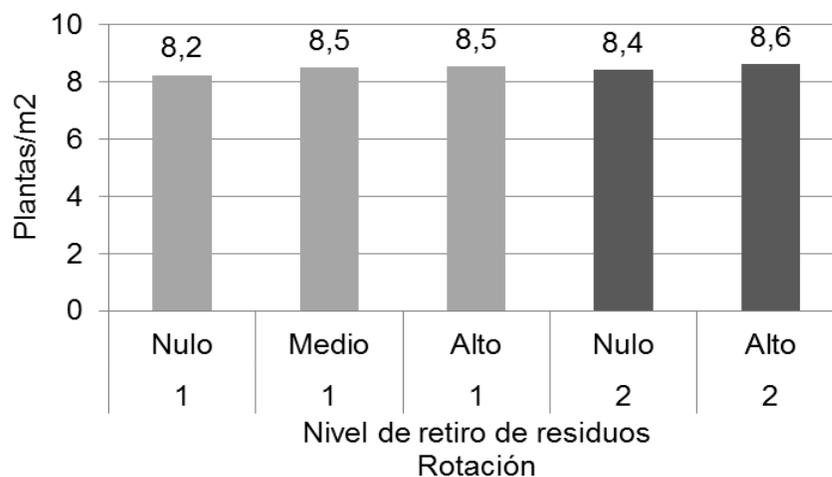


Figura No. 9. Implantación de maíz según nivel de retiro de residuos y rotación

Los factores evaluados no causaron diferencias significativas en esta variable, y tampoco se detectó interacción entre ellos.

Si bien el maíz es sembrado sobre un suelo en barbecho, es de suponer que las parcelas con nivel de retiro nulo deberían tener más cantidad de rastrojo en superficie y menores temperaturas de suelo. En este sentido, Kravchenko y Thelen (2007) encontraron que con mayor nivel de residuo de trigo se obtuvieron menor número de plantas de maíz, y explican que posiblemente esto fuera dado por una tardía emergencia y menores temperaturas del suelo. Sin embargo lo anterior no fue confirmado en nuestro experimento. Como se explicó para el sorgo, en la fecha de siembra utilizada posiblemente la temperatura no fuera una limitante para la germinación, ya que según Giménez (2001), debe haber entre 10-12°C para que la germinación y emergencia de este cultivo ocurran rápida y fluidamente.

El nivel de plantas obtenido fue para todos los tratamientos, mayor al nivel de plantas que se planteó como objetivo al inicio del experimento (70.000

pl/ha). Esta alta densidad puede haber influido en los rendimientos finales, lo cual será discutido más adelante.

4.3.2. Efecto del nivel de retiro de residuos y rotación sobre el contenido de nitratos en suelo, medidos a V6

La gráfica a continuación muestra las medias de nitratos en suelo medidos en el estado de V6, para cada tratamiento.

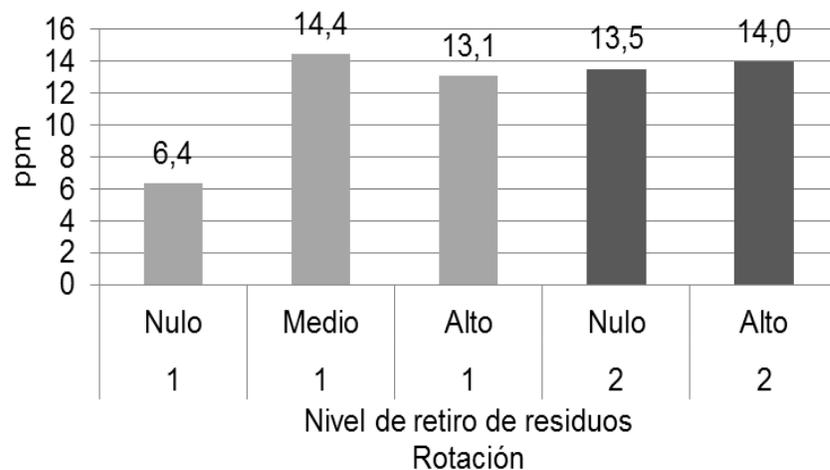


Figura No. 10. Nivel de nitratos en suelo (V6) en parcelas de maíz, según nivel de retiro de residuos y rotación

Según la bibliografía revisada, sería esperable encontrar menores niveles de nitratos en aquellas situaciones con altas cantidades de rastrojo debido a varios factores. Por un lado, se daría una mayor inmovilización de nitrógeno por parte de los microorganismos, para poder descomponer el rastrojo (Morón, 2001), mientras que la reducción en la temperatura del suelo enlentece la mineralización, y la mayor infiltración de agua en el suelo generaría mayores pérdidas de nitratos por lixiviación (Perdomo y Barbazán, s.f.). Lo anterior podría estar explicando la diferencia encontrada para el tratamiento de nulo

retiro de rastrojo en la rotación 1. Sin embargo no fueron detectadas diferencias significativas, posiblemente debido a un coeficiente de variación muy alto (57,87%) que genera una mínima diferencia significativa de 16,8.

4.3.3. Efecto del nivel de retiro de residuos y rotación sobre el índice de área foliar, medido a floración

A continuación se muestran las medias de área foliar para los distintos tratamientos.

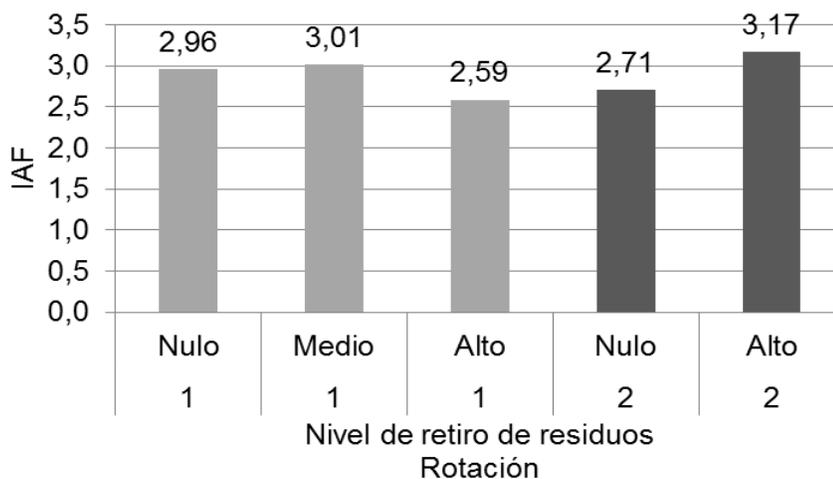


Figura No. 11. Índice de área foliar de maíz medido a floración, según nivel de retiro de residuos y rotación

No existió efecto significativo del nivel de retiro de residuos ni de la rotación en esta variable.

Los valores obtenidos se consideran bajos, si se tiene en cuenta el potencial de la especie, que posee valores de IAF crítico promedio de 4,2 (Gardner, 1985). Estas reducciones en el IAF podrían deberse a un déficit hídrico ocurrido desde comienzos de período crítico, el cual puede haber

afectado la expansión foliar de las últimas hojas (Andrade, 2000), reduciendo el área foliar del cultivo.

4.3.4. Efecto del nivel de retiro de residuos y rotación sobre el rendimiento

La siguiente gráfica muestra las medias de rendimiento resultantes de cada tratamiento.

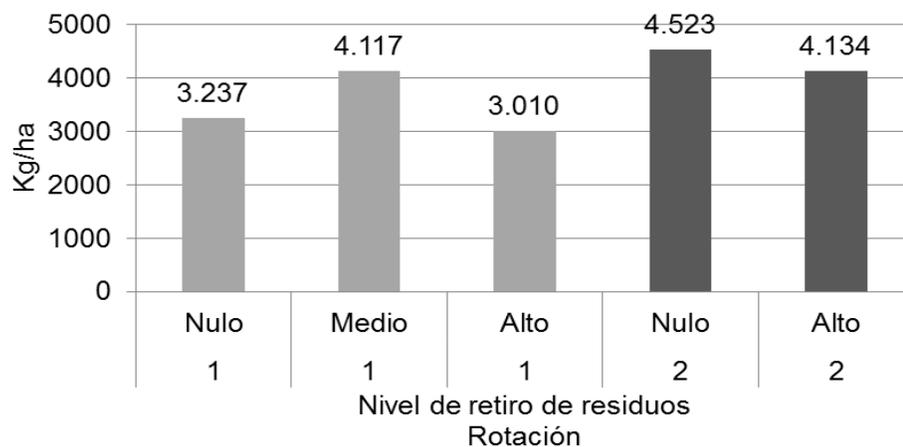


Figura No. 12. Rendimiento de maíz según nivel de retiro de residuos y rotación

Las diferencias encontradas en rendimiento no fueron estadísticamente significativas.

En la bibliografía se encontraron casos de incrementos en los rendimientos de maíz al ser retirado el rastrojo del trigo antecesor, ya que la presencia de residuos de trigo en superficie empeora las condiciones de la cama de siembra, retrasando la emergencia y el crecimiento inicial del cultivo (Opoku, 1997).

En Nebraska, zona de clima semiárido, se encontraron mayores rendimientos de maíz cuando este fue sembrado sobre niveles intermedios de rastrojo de trigo (4,4 ton/ha). Los autores atribuyen este efecto a una mayor acumulación de agua en el suelo. Sin embargo, también afirman que la respuesta en rendimiento en grano a los distintos niveles de residuos en superficie son altamente variables según las condiciones del ambiente, como por ejemplo la cantidad de agua que fue conservada, el nivel de estrés hídrico ocurrido, la cantidad y distribución de precipitaciones, temperaturas, evapotranspiración potencial y presencia de malezas (Wicks et al., 1994).

Las condiciones en el presente experimento fueron algo distintas a las existentes en los estudios mencionados, ya que los niveles de rastrojo presentes al momento de la siembra, si bien no fueron medidos (la medición de rastrojo en superficie se realizó solamente en las parcelas de sorgo), se estima que fueron considerablemente menores. Por lo tanto sus efectos sobre temperatura y humedad de suelo no serían tan evidentes.

En cuanto al efecto rotación, si bien las diferencias encontradas no son significativas, el promedio de la rotación 2 fue 4328 kg, frente a 3454 kg de la rotación 1, es decir 874 kg mayor, cifra que se considera importante. Esta tendencia podría estar dada por los menores niveles de rastrojo presentes en superficie para todas las parcelas de la rotación 2, ya que aunque existe el nivel de retiro nulo, en dicho tratamiento el sorgo dulce es cosechado en su totalidad.

El rendimiento del cultivar utilizado obtenido en la evaluación nacional de cultivos correspondiente a la zafra 2012/2013 (misma zafra que el presente experimento) fue de 4.538 kg/ha en promedio (para todas las localidades y fechas de siembra evaluadas), mientras que para la localidad de Young, ubicación más cercana a la zona en estudio, el rendimiento obtenido fue 4.071

kg/ha, con una fecha de siembra (2 de noviembre) muy próxima a la utilizada para el cultivo en estudio. El rendimiento promedio de todos los tratamientos en este experimento fue 3.804 kg/ha, valor que no se encuentra tan alejado del obtenido por INIA-INASE. Estos rendimientos se encuentran lejos del potencial de la especie.

La gráfica a continuación muestra la distribución de las precipitaciones a lo largo del ciclo del cultivo, y la fecha estimada en que ocurrieron los principales eventos fenológicos.

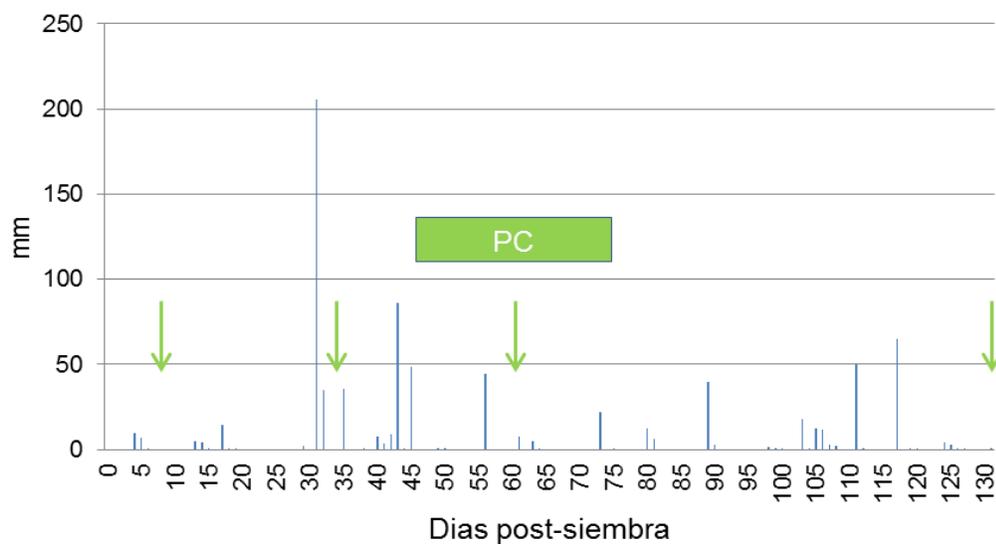


Figura No. 13. Precipitaciones y eventos fenológicos durante el ciclo del cultivo de maíz

Las precipitaciones aproximadas para cada período fueron:

Emergencia- V6: 267 mm

V6- Inicio período crítico: 192 mm

Período crítico: 81 mm

Fin período crítico- Madurez fisiológica: 235 mm

La precipitación acumulada durante el ciclo del cultivo fue de 840 mm, valor que se considera más que suficiente al contrastarlo con los resultados obtenidos por Giménez (2012) en tres años de evaluación. Estos demuestran que las necesidades hídricas del cultivo corresponden a 550 mm, de los cuales 200-220 son requeridos durante el período crítico. Las precipitaciones ocurridas durante el mismo fueron 81 mm, considerándose esta una causa muy importante en la obtención de los bajos rendimientos.

Durante este período se determinan el número potencial de óvulos, el tamaño de la espiga femenina, el aparato masculino y por lo tanto el número potencial de granos, principal componente del rendimiento. Las correlaciones halladas para este experimento entre número de granos por metro cuadrado y peso de grano con el rendimiento fueron 0,98 y 0,79 respectivamente. En este sentido, Frey, Tollenaar y Daynard, citados por Wicks et al. (1994) establecen que el rendimiento en grano está más correlacionado con el número de granos ($r=0,95$) que con el peso de los mismos ($r=0,75$).

Como evento central del período crítico ocurre la emergencia de la panoja masculina y la emergencia de los estilos-estigmas, aproximadamente tres días después (Giménez, 2001). El déficit hídrico en esta etapa puede haber causado un retraso en la floración femenina perjudicando la fecundación y obteniendo espigas más chicas (321 granos promedio por espiga). Por último, la primera etapa o fase lag (etapa más susceptible a las condiciones ambientales dentro del período de llenado de grano) también puede haberse afectado por el déficit hídrico, provocando aborto de granos, reduciendo aún más el número de granos.

Por otra parte, para todos los tratamientos el número de espigas por planta fue inferior a 1, lo que demuestra que algunas plantas no alcanzaron a

fijar 1 espiga pero si compitieron por recursos, agravando el efecto del déficit hídrico. Si bien el número de plantas presentes a cosecha (6,25 pl/m², sin diferencias significativas entre tratamientos) fue menor al nivel de población obtenido al inicio del experimento, se considera que en años con déficit hídrico importante esta población seguiría siendo limitante para el rendimiento.

A continuación se muestran los componentes de rendimiento para el maíz, discutidos anteriormente.

Cuadro No. 2. Componentes del rendimiento en maíz según nivel de retiro de residuos y rotación

Rot./Retiro	Rend (kg/ha)	Plantas/m ²	Mazorca/pl	Grano/maz	PMG (g)
1/ Nulo	3237	6,6	0,88	291	195,49 ab
1/ Medio	4117	6,3	0,95	341	202,58 ab
1/ Alto	3010	6,1	0,96	285	182,75 b
2/ Nulo	4523	5,9	0,95	369	214,28 a
2/ Alto	4134	6,4	0,95	317	213,41 a
DMS Tukey	2868	1,71	0,109	200,9	26,86
CV	32,51	11,37	4,86	26,04	5,74

Como se observa en el cuadro, se encontró que existe un efecto rotación en el peso de grano. Es así que la rotación que incluye sorgo dulce obtuvo para este año mayores valores. Sin embargo, no se observó compensación en el rendimiento (a través de un incremento en el peso de grano) en aquellos tratamientos con menor número de grano por mazorca, lo cual coincide con lo establecido por Andrade et al. (2000). Estos autores indican que el maíz posee baja capacidad para compensar un bajo número de granos con mayor peso de

los mismos, haciendo que sea crítica la etapa de determinación del número de granos. En este sentido, aquellos tratamientos que tuvieron mayor número de grano fueron también los que alcanzaron mayores pesos de grano y mayor rendimiento.

A modo de referencia, el cultivar utilizado en el experimento alcanzó un peso promedio de mil granos de 250 gr en la localidad de Colón, Buenos Aires (Ferraris y Couretot, 2010), mientras que en las condiciones del presente experimento el peso promedio obtenido fue de 200 gr.

5. CONCLUSIONES

Según las condiciones climáticas existentes, y para una rotación que lleva cuatro años de iniciada, no existieron diferencias en implantación tanto para sorgo grano como para maíz, confirmando lo esperado al inicio del experimento. Sin embargo no se confirmó la hipótesis planteada acerca del rendimiento, ya que no se encontraron diferencias significativas entre los distintos tratamientos.

Por lo anterior sería posible retirar altos niveles de residuos sin afectar el comportamiento de los sucesivos cultivos.

En cuanto a la disponibilidad de nitratos en suelo, no se confirman las hipótesis plantadas ya que los distintos tratamientos no generaron diferencias (asociadas a una variación en su dinámica en el corto plazo) en el contenido de este nutriente en el suelo.

Por otro lado, tampoco se habrían generado diferencias en la capacidad de aporte de nitratos del suelo, esperable en aquellos tratamientos con menores cantidades de rastrojo en superficie. Habiendo ocurrido cuatro años de rotación, este tiempo parece no ser suficiente para evidenciar dicha diferencia.

Se considera importante continuar generando información relacionada a estas temáticas de manera de contar con un mayor número de resultados en la mayor diversidad de condiciones posibles.

6. RESUMEN

El creciente interés a nivel mundial y nacional por diversificar la matriz energética e incluir fuentes de energía renovables que disminuyan la dependencia frente a los combustibles derivados del petróleo, ha promovido la investigación para el desarrollo de fuentes alternativas como la producción de combustibles líquidos a partir de biomasa. Una de las posibles materias primas a utilizar para la obtención de este tipo de energía son los residuos de cosecha de cultivos agrícolas. En este contexto, el presente trabajo se plantea como objetivos evaluar el impacto del retiro de residuos de trigo sobre la implantación y rendimiento de maíz y sorgo, y evaluar el efecto de la inclusión de sorgo dulce en la implantación y rendimiento de maíz, en una rotación trigo-sorgo-maíz. A nivel de suelo, se evaluó el efecto de los niveles de retiro de residuos y de la inclusión de sorgo dulce en la rotación, en la disponibilidad de nitrógeno. El ensayo fue realizado en un Brunosol Eutrítico Típico ubicado en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni, dentro del departamento de Paysandú, Uruguay. Los niveles de retiro de residuos evaluados no generaron diferencias significativas en ninguna de las variables evaluadas en los cultivos. La inclusión de sorgo dulce en la rotación tampoco afectó las variables evaluadas para el cultivo de maíz. La ocurrencia de déficit hídrico durante el período crítico de ambos cultivos evaluados generó reducciones en el rendimiento, pudiendo haber limitado la expresión de diferencias según los tratamientos aplicados. 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.

Palabras clave: Maíz; Sorgo; Rastrojo de trigo; Retiro de residuos; Implantación;
Nitrógeno; Rendimiento.

7. SUMMARY

The global and national growing interest on diversifying the energetic matrix and the inclusion of renewable sources of energy to reduce the dependence from fuels made from petroleum, has promoted research in order to develop alternatives sources such as the production of liquid biofuels from biomass. Crop residues can be used as feedstock to obtain this type of energy. Is in this context that the present research proposes to evaluate how removing wheat residues could impact into the implantation and yield of corn and sorghum. Also this research aim to evaluate the inclusion of sweet sorghum into crop rotation and its influence on corn implantation and yield, into a wheat/sorghum/corn rotation. Within soil variables, it was measured the different residue removals and the sweet sorghum inclusion effects on available nitrogen. The trial took place on a typical Brunosol, located at experimental station Mario A. Cassinoni, Paysandú, Uruguay. Residue removal levels tested didn't cause meaning differences on none of the evaluated factors. Sweet sorghum inclusion into rotation neither affected corn implantation nor yield. Water deficiency occurred during the period when crops are defining future yields would probably have reduced them, limiting the occurrence of differences between treatments. Although there were no differences on available nitrogen, it was perceived a tendency in which there was less available nitrogen in those treatments with more residues on surface (lower residue removal levels), due to higher immobilization, leaching and less mineralization.

Key words: Corn; Sorghum; Wheat stubble; Residue removal; Implantation; Nitrogen; Yield.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Altamirano, A.; Da Silva, H.; Durán, A.; Echeverría, A.; Panario, D.; Puentes, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay; clasificación de suelos. Montevideo, MAP. DSF. t.1, 96 p.
2. Andrade, F. H.; Aguirrezábal, L. A. N., Rizzalli, R. H. 2000. Crecimiento y rendimiento comparados. In: Andrade, F.H.; Sadras, F. O. eds. Bases para el manejo del maíz, girasol y la soja. Balcarce, INTA. pp. 61-90.
3. Astegiano, E. D.; Pilatti, R. A. 2003. La expansión foliar del sorgo granífero en respuesta a períodos cortos y súbitos de estrés hídrico. (en línea). Agronomía Tropical. 53(1): 73-87. Consultado 9 abr. 2014. Disponible en http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2003000100006&lng=es&nrm=iso
4. Díaz, M.; Kuttel, W.; López, R. 2011. Rendimiento y componentes numéricos de híbridos de sorgo granífero en el centro oeste de la provincia de Entre Ríos. (en línea). Paraná, INTA. 6 p. Consultado 2 abr. 2014. Disponible en http://inta.gob.ar/documentos/rendimiento-y-componentes-numericos-de-hibridos-de-sorgo-granifero-en-el-centro-oeste-de-la-provincia-de-entre-rios/at_multi_download/file/INTA-Rendimiento-y-componentes-numericos-de-h%C3%ADbridos-sorgo-gran%C3%ADfero-Entre-R%C3%ADos.pdf
5. Di Rienzi, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L.; Tablada, M.; Robledo, C. W. 2013. InfoStat versión 2013. (en línea). Córdoba, Universidad Nacional de Córdoba. FCA. s.p. Consultado 27 mar. 2014. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
6. Ernst, O. s.f. Siembra sin laboreo de cultivos de verano. Paysandú, Facultad de Agronomía. 18 p.

7. Ferraris, G. N.; Couretot, L. A. 2010. Caracterización y evaluación comparativa de cultivares de maíz en la localidad de Colón, Buenos Aires; campaña 2008/09. (en línea). Pergamino, INTA. 10 p. Consultado 11 abr. 2014. Disponible en <http://www.syngentaenvivo.com.ar/ensayos/Maiz-Grano/Maiz%20hibridos%20INTA%20Pergamino%202008-09.pdf>
8. Fortin, M. C.; Pierce, F. J. 1991. Timing and nature of mulch retardation of corn vegetative development. *Agronomy Journal*. 83: 258-263.
9. Ganduglia, F; León, J. G.; Rodríguez, M. E.; Huarte, G. J.; Estrada, J.; Figueiras, E. 2009. Manual de biocombustibles. Montevideo, ARPEL/ IICA. 205 p.
10. Gardner, F. P.; Brent Pearce, R.; Mitchel, R. L. 1985. Fijación de carbono por los cultivos. (en línea). Iowa, Iowa State University Press. pp. 1-28. Consultado 27 may. 2014. Disponible en [http://agro.unc.edu.ar/~ceryol/documentos/ecofisiologia/FIJACION DE CARBONO POR LOS CULTIVOS.pdf](http://agro.unc.edu.ar/~ceryol/documentos/ecofisiologia/FIJACION_DE CARBONO POR LOS CULTIVOS.pdf)
11. Giménez, L. 2001. Maíz. Montevideo, Facultad de Agronomía. 76 p.
12. _____. 2012. ¿Cuánto estamos perdiendo por no regar cultivos en Uruguay? In: Seminario Internacional Riego en Cultivos y Pasturas (2º, 2012, Salto, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 33-41.
13. González, N.; Scheidl, G. s.f. Implantación del cultivo de sorgo. (en línea). Buenos Aires, INTA. 13 p. Consultado 31 mar. 2014. Disponible en <http://agrolluvia.com/wp-content/uploads/2009/09/pe-implantacion-del-cultivo-de-sorgo.pdf>
14. Hilbert, J. A. 2013. El planteo agronómico del uso de los residuos de origen vegetal en la generación de energía. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 28 may. 2014. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/sustentabilidad-de-los-biocombustibles/>

15. IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR). 2007. Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles. (en línea). San José, Costa Rica. 24 p. Consultado 28 may. 2014. Disponible en http://www.iica.int/Esp/Programas/Innovacion/Publicaciones_Tel/Preguntas%20y%20respuestas%20m%C3%A1s%20frecuentes%20sobre%20biocombustibles.pdf
16. INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). 2013. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de maíz para grano y maíz para silo. Montevideo. 60 p.
17. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Grupo Agroclima y Sistemas de Información, UY). s.f. Pronósticos de estadios fenológicos; maíz, girasol y sorgo. (en línea). Montevideo. s.p. Disponible en <http://www.inia.org.uy/gras/>
18. INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, AR). 2007. Consideraciones para el cultivo de sorgo granífero. (en línea). Anguil, INTA. 15 p. Consultado 1 abr. 2014. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/maiz_sorgo/89-cultivo_sorgo.pdf
19. Kravchenko, A. G.; Thelen, K. D. 2007. Effect of winter wheat crop residue on no-till corn growth and development. *Agronomy Journal*. 99: 549-555.
20. Martino, D. 2003. Biodiesel, breve análisis de su factibilidad en Uruguay. (en línea). Montevideo, INIA. 5 p. Consultado 27 dic. 2013. Disponible en http://www.inia.org.uy/gras/cc_cg/biocombustibles/INIA-GRAS_inf_biodiesel_set03.pdf
21. Marelli, H. J. 1995. Siembra directa y agricultura sostenible. *In*: Marelli, H. J.; Arce, J. eds. Aportes en siembra directa. Córdoba, Argentina, INTA. E.E. Marcos Juárez. pp. 1-22.

22. MIEM. DNE (Ministerio de Industria, Energía y Minería. Dirección Nacional de Energía, UY). 2012. Bioenergía. Montevideo. 2 p. Consultado 27 dic. 2013. Disponible en <http://www.miem.gub.uy/documents/112315/133193/Impo%2007%202012%20-%20Bioenergia.pdf>
23. Morón, A. 2001. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. (en línea). In: Díaz Rosselló, R. coord. Siembra directa en el Cono Sur. Montevideo, PROCISUR. pp. 387-405.
24. Nagaya Mulumba, L.; LAL, R. 2008. Mulching effects on selected soil physical properties. Soil and Tillage Research. 98: 106-111.
25. Opoku, G.; Vyn, T. J. 1996. Wheat residue management options for no-till corn. Guelph, Ontario, Canada, University of Guelph. 7 p.
26. Perdomo, C.; Barbazán, M. s.f. Nitrógeno. Montevideo, Facultad de Agronomía. 70 p.
27. Rameau Ribeiro, M.; Rosa Morán, A. L. 2013. Efecto de las deficiencias hídricas sobre el rendimiento de sorgo granífero. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 59 p.
28. Siri, G. 2004. Sorgo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 96 p.
29. Smika, D. E.; Unger, P. W. 1986. Effect of surface residues on soil water storage. Advances in Soil Science. 5: 111-138.
30. Texo, J. P.; Bentancur, C. I.; Duque, J. P. 2009. Perspectivas generales de desarrollo de la industria de los biocombustibles en el Uruguay. Tesis Contador Público. Montevideo, Uruguay. Facultad de Ciencias Económicas y Administración. 163 p.
31. Unger, P. W. 1978. Straw-mulch rate effect on soil water storage and sorghum yield. Soil Science Society of America Journal. 42: 486-491.

32. _____.; Jones, O. R. 1981. Effect of soil water content and a growing season straw mulch on grain sorghum. Soil Science Society of America Journal. 45: 129-134.
33. URUGUAY SUSTENTABLE. s.f. Ministro Kreimerman destacó cambio de matriz energética. (en línea). s.l. s.p. Consultado 28 may. 2014. Disponible en <http://www.uruguaysustentable.com.uy/logistica-energia/ministro-kreimerman-destaco-cambio-de-matriz-energetica/>
34. 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.

9. ANEXOS

Sorgo grano

Bloque	Nivel de retiro	Implantación (pl/m ²)	Nitratos (ppm)	Rendimiento (kg/ha)	Peso 1000 granos (gr)
1	0	24,5	10	3860	25,833
2	0	23,5	8,5	3440	25,500
3	0	19,7	18,5	3820	26,000
1	40	18,7	14	4190	23,667
2	40	17,8	10,2	3810	22,833
3	40	21,7	20,2	3800	24,333
1	80	22,3	12,2	3850	21,667
2	80	25,3	11	4460	21,333
3	80	24,2	11,1	2620	25,000

Nivel de retiro	Rastrojo trigo (tt/ha)	Cobertura (%)
0	3,53	86,25
0	3,23	92
0	4,39	92,5
40	2,47	79,5
40	s.d.	82
40	2,26	77,5
80	1,45	67,75
80	1,25	79,75
80	1,54	75,25

Maíz

Bloque	Rotación	Nivel de retiro	Implantación (pl/m ²)	Nitratos (ppm)	IAF	Rendimiento (kg/ha)
1	1	0	8	6	2,82	2956
2	1	0	8,5	7	3,41	3454
3	1	0	8,2	6,1	2,64	3300
1	1	40	8	8,3	2,2	3421
2	1	40	9	4,9	2,49	3226
3	1	40	8,5	30	4,35	5703
1	1	80	8,7	8,2	2,07	2370
2	1	80	8,6	20	2,46	3729
3	1	80	8,3	11	3,23	2931
1	2	0	7,9	10,5	3	5940
2	2	0	8,4	11	2,27	2978
3	2	0	8,9	16	2,85	4650
1	2	80	8,5	10,2	2,49	2817
2	2	80	8,7	18,4	3,33	6101
3	2	80	8,6	13,3	3,69	3483

Bloque	Rotación	*Pl/m ²	Maz/pl	Granos/maz	Granos/m ²	Peso 1000 granos (gr)
1	1	6,6	0,91	261	1567	188,65
2	1	5,6	0,86	356	1707	202,33
3	1	7,6	0,87	256	1688	195,50
1	1	5,6	0,93	342	1780	192,27
2	1	6,6	1,00	256	1688	191,09
3	1	6,6	0,91	424	2542	224,37
1	1	6,8	0,94	209	1339	177,05
2	1	5,2	1,00	377	1961	190,20
3	1	6,4	0,94	270	1620	181,00
1	2	6,6	0,97	405	2591	229,27
2	2	5	0,88	323	1420	209,76
3	2	6	1,00	380	2282	203,80
1	2	6,6	0,97	209	1338	210,51
2	2	6,6	0,94	445	2761	221,01
3	2	6	0,93	298	1669	208,72

*Al momento de la cosecha