

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DEL RETIRO DE RESIDUOS DE DIFERENTES CULTIVOS
C4 DE VERANO SOBRE LA DINÁMICA DEL NITRÓGENO E
IMPLANTACIÓN Y RENDIMIENTO DE TRIGO**

por

**Luis LANDECHEA MAÑÁ
Mauricio RODRÍGUEZ OJEDA**

**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: 28 de abril de 2014.

Autor:

Luis Landechea Mañá

Mauricio Rodríguez Ojeda

AGRADECIMIENTOS

- A los Ingenieros Agrónomos Guillermo Siri-Prieto y Oswaldo Ernst por la dirección de este trabajo.
- A los Ingenieros Agrónomos Hernán Rodríguez y Mateo Ceriani por ayudarnos en el trabajo de campo y explicarnos la metodología de las determinaciones realizadas.
- A la Ing. Agr. Mónica Cadenazzi y el Ing. Agr. Oscar Bentancur por guiarnos en el procesamiento estadístico.
- Al personal tanto de campo como de laboratorio de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni por ayudarnos a lo largo de todo el trabajo de campo de la tesis.
- Al personal de biblioteca por facilitarnos el acceso a varios artículos que permitieron el desarrollo del presente trabajo.
- A la Lic. Sully Toledo por la corrección de la tesis.
- A todos aquellos tanto familiares como amigos que de una forma u otra colaboraron en la realización del presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. EFECTO DEL RETIRO DE RASTROJO	3
2.1.1. <u>Efecto sobre el carbono orgánico del suelo y nitrógeno total del suelo</u>	3
2.1.1.1. Generalidades de la materia orgánica del suelo (MOS) ...	3
2.1.1.2. Rol de los residuos y su relación con el COS y nitrógeno total del suelo	4
2.1.2. <u>Efecto sobre la dinámica del nitrógeno</u>	8
2.1.3. <u>Efecto sobre la implantación y rendimiento del trigo</u>	9
2.2. EFECTO DEL SORGO DULCE EN LA ROTACIÓN	11
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	13
3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EXPERIMENTO	13
3.1.1. <u>Localización espacial y temporal</u>	13
3.1.2. <u>Descripción del ensayo</u>	13
3.2. DETERMINACIONES REALIZADAS	15
3.2.1. <u>Pre-siembra</u>	15
3.2.2. <u>En cultivo</u>	15
3.2.3. <u>Post-cosecha</u>	16
3.2.4. <u>Diseño experimental</u>	16
3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	17

3.3.1. <u>Modelo estadístico</u>	17
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	18
4.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL AÑO	18
4.1.1. <u>Precipitaciones</u>	18
4.1.2. <u>Temperatura</u>	20
4.2. RENDIMIENTO DEL CULTIVO ANTECESOR (MAÍZ).	21
4.3. RASTROJO DE MAÍZ (KG/HA Y % DE COBERTURA)	22
4.4. CARBONO ORGÁNICO Y NITRÓGENO TOTAL	24
4.5. DINÁMICA DEL NITRÓGENO	26
4.6. COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DE TRIGO	29
4.6.1. <u>Efecto en la implantación</u>	29
4.6.2. <u>Efecto en el macollaje</u>	30
4.6.3. <u>Efecto en la fertilidad de tallos, población de espigas</u>	32
4.6.4. <u>Granos (por espiga y por m²)</u>	33
4.6.5. <u>Peso de mil granos.</u>	35
4.6.6. <u>Rendimiento</u>	36
4.6.7. <u>Parámetros de calidad</u>	38
4.6.7.1. <u>Peso Hectolítrico</u>	38
5. <u>CONCLUSIONES</u>	40
6. <u>RESUMEN</u>	41
7. <u>SUMMARY</u>	42
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	43
9. <u>ANEXOS</u>	48

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Rendimiento del antecesor (maíz 12/13).....	21
2. Evolución del contenido de N-NO ₃ - (0-20 cm) en el suelo (siembra y Z22) y %N en planta a Z30 según tratamientos.....	26
3. Variables Biomasa Z30, porcentaje de nitrógeno en planta a Z30 y Kg de nitrógeno absorbido a Z30 según tratamientos.....	28
4. Componentes del rendimiento según tratamientos y resultados de los contrastes estudiados.....	29
5. Peso de mil granos según tratamientos.....	35
6. Biomasa total aérea, índice de cosecha, rendimiento en grano y rastrojo generado en los cinco tratamientos evaluados.....	36
7. Peso hectolítrico según tratamientos.....	38
Figura No.	
1. Precipitaciones mensuales registradas en EEMAC durante el año 2013 y datos históricos de precipitaciones mensuales para Paysandú (serie 1980-2009, Castaño et al., 2011).....	18
2. Temperaturas medias mensuales registradas en EEMAC durante el año 2013, y datos históricos de temperaturas medias mensuales para Paysandú (serie 1980-2009, Castaño et al., 2011).....	20
3. Cantidad de rastrojo en superficie y porcentaje de cobertura del suelo generado por los cinco tratamientos evaluados.....	22

4. Concentración de carbono orgánico del suelo (COS) de 0 a 5 cm, según tratamientos.....	24
5. Concentración de nitrógeno total en suelo de 0 a 5 cm, según tratamientos.....	25
6. Nivel de N-NO ₃ - a Z22 en cada unidad experimental en función de la cantidad de residuos de maíz en superficie.....	27
7. Regresión lineal entre la población lograda y la cantidad de rastrojo previo a la siembra.....	30
8. Regresión lineal entre las variables macollos por planta y plantas por metro lineal.....	31
9. Tallos (no./m ²), fertilidad de tallos (%) y población de espigas (no./m ²), según tratamientos (NS).....	32
10. Efecto del retiro de rastrojo en la población de espigas, para ambas rotaciones	32
11. Tamaño de espiga (no. granos/esp) y número de granos por m ² , según tratamientos.....	33
12. Granos/m ² según manejos contrastantes de rastrojo, para ambas rotaciones.....	34
13. Interacción rotación-retiro observada para PMG.....	35
14. Biomasa total aérea, rendimiento y residuo de trigo producido en los manejos de rastrojo de maíz contrastantes, para ambas rotaciones.....	37
15. Interacción del rendimiento generada entre manejos de rastrojo contrastantes y la rotación agrícola.....	38

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años mundialmente se ha intensificado la búsqueda de una matriz energética más diversificada, con el fin de reducir la dependencia principalmente del petróleo y en menor medida del carbón mineral (fuentes no renovables y con precios siempre tendientes al alza) así como reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (principalmente CO₂).

En función de lo anterior, los biocombustibles cada vez participan más como fuentes energéticas, tal es el caso del etanol producido a partir de granos (ejemplo maíz en USA), de cultivos energéticos como sorgo dulce o caña de azúcar (Brasil), cultivos lignocelulósicos y residuos de cosecha de cultivos cerealeros o industriales. Un ejemplo que involucra y apunta a estos últimos, es la política que adoptó el Gobierno de Ontario (Canadá), de suprimir para el 2014 el uso de carbón mineral como fuente energética para generar electricidad, sustituyéndolo por biomasa (Kludze et al., 2013).

Algunas de estas prácticas pueden generar escasos niveles de cobertura del suelo que deriven en problemas de erosión, llevando implícito esto una pérdida en la fertilidad del suelo (Ernst y Siri Prieto, 2008), una reducción en el carbono orgánico del suelo (COS) (Blanco-Canqui 2012, 2013, Kong 2013), y/o impactos diferenciales en el rendimiento de los cultivos.

A nivel nacional, la ejecución de una política con énfasis en la conservación del recurso suelo (Planes de Uso y Manejo), impone restricciones a la factibilidad de poder utilizar cultivos energéticos que se cosechen en su totalidad y/o retirar residuos de cosecha tradicionales, lo que generaría pérdidas de suelo estimadas por encima de las toleradas para determinados suelos, excluyéndolos de la posibilidad de realizar dichas prácticas. Sin tener en cuenta otros posibles perjuicios que incrementen el deterioro de la calidad de suelo.

Atendiendo a esta problemática, en 2011 se generó un convenio entre ANCAP y Facultad de Agronomía, UdelaR, para conducir un proyecto de investigación que genere información nacional con el fin de cuantificar el impacto del uso de diferentes alternativas de cultivos energéticos y/o retiro de los residuos en sistemas tradicionales de granos sobre el rendimiento y el potencial del recurso suelo.

El presente trabajo tiene por objetivo evaluar el efecto del retiro de rastrojo en diferentes niveles así como la inclusión del sorgo dulce como cultivo energético en una rotación agrícola puramente constituida por cereales (maíz1ra-trigo-sorgo2da), en la implantación y rendimiento del cultivo de trigo, dinámica del nitrógeno durante el ciclo del cultivo de trigo, e impacto en el COS y Nitrógeno total del suelo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EFECTO DEL RETIRO DE RASTROJO

2.1.1. Efecto sobre el carbono orgánico del suelo y nitrógeno total del suelo

2.1.1.1. Generalidades de la materia orgánica del suelo (MOS)

Cuando se habla de MOS y/o COS no se debe perder de vista que este último no es equivalente a la primera, sino que es uno de sus principales componentes. Según Álvarez (2006), el COS representa un 58,14% de la MOS, mientras Silva (2010) maneja rangos de entre 45 y 62% dependiendo del origen de los restos.

La MOS es considerada el indicador simple más importante para definir la calidad del suelo (Larson y Pierce, citados por Morón, 2001). La importancia de la materia orgánica como constituyente del suelo está dada por su asociación con propiedades físicas (densidad aparente, estructura, aireación y drenaje, consistencia), químicas y biológicas (actividad biológica, fuente de nutrientes, capacidad de intercambio catiónico, poder buffer, combinación con moléculas orgánicas) lo cual le confiere al mismo mayores potenciales de producción (Morón, 2001).

La MOS está constituida por diferentes fracciones que varían a lo largo del tiempo. La fracción más activa corresponde a la biomasa microbiana y sus metabolitos (aminoácidos, proteínas y carbohidratos), comprendiendo alrededor del 2-3%. Es la más importante en la reposición de nutrientes para las plantas a pesar de su escasa proporción dentro del total del componente orgánico del suelo, donde predominan los compuestos más estables (Kausadikar et al., 2012). Silva (2010), maneja proporciones entre un 10 y 15% para la fracción más lábil, mientras que las sustancias húmicas (estables) representarían entre un 85 y 90% del total de la MOS.

Cui et al., citados por Kong (2013) reportaron que la actividad y diversidad microbiana incrementó en los sistemas de retención de residuos. La variación en la composición de la comunidad bacteriana resulta de los cambios en los componentes químicos de los residuos (Bastian et al., 2009) y la

competencia a través de los diversos microbios. Se ha verificado que al principio se desarrollan preferentemente grupos de bacterias no esporógenas, que utilizan los materiales orgánicos más asequibles, mono y disacáridos, aminoácidos, proteínas, etc., luego comienzan a ser sustituidos por bacterias esporógenas, las cuales pueden aprovechar compuestos más complejos por ejemplo la celulosa. Hacia el final del proceso de descomposición se observa un abundante desarrollo de actinomicetes, los cuales son capaces no solo de aprovechar compuestos estables de los restos frescos, sino también las sustancias húmicas recién formadas (Silva, 2010). Lo mismo comentan Poll et al., citados por Kong (2013).

Qin et al. (2010) demostraron que en sistemas de no laboreo con retención de residuos aumentó la actividad de las enzimas β -glucosidasa, Nacetyl- β -glucosaminidasa, proteasas, y ureasas en comparación con sistema de laboreo sin retención de residuos. Estos resultados se repiten en experimentos posteriores de Gao, citado por Kong (2013), donde comenta que la actividad enzimática tiene una correlación positiva con la materia orgánica del suelo y con el nitrógeno total.

2.1.1.2. Rol de los residuos y su relación con el COS y Nitrógeno total del suelo

Morón (2001), Ernst (2009) coinciden que en los sistemas agrícolas los rastrojos (residuos de cosecha), raíces y sus exudados constituyen las entradas de carbono al suelo. Mientras que las salidas están dadas por la mineralización de la MOS y las pérdidas por erosión. Ernst (2003), sostiene que la siembra sin laboreo aporta significativamente al control del proceso de erosión hídrica (pérdida de suelo y por ende salida de C del sistema) si se mantiene cobertura por rastrojos. Sin embargo, si esto último no sucede, igualmente la pérdida de suelo se reduce frente al laboreo convencional, aunque la estratificación de nutrientes (concentración en primeras capas del perfil) genera pérdidas mayores de estos al momento de la erosión. En concordancia con lo anterior Sawchik (2001) y por otro lado Hermle (2008) también hacen referencia a una importante estratificación del COS y el N total en sistemas de siembra directa frente a laboreo convencional por lo cual la siembra directa resulta en un incremento en el contenido de materia orgánica y nutrientes en los estratos superiores del perfil. Siendo la magnitud de este cambio dependiente del manejo anterior del suelo, secuencia de cultivos utilizada y de la cantidad y tipo

de fertilizante aplicado. Por ejemplo Ingold, citado por Ernst (2008), al comparar dos manejos contrastantes de residuos de cosecha en agricultura continua observó que el retiro de residuos tuvo una pérdida COS por erosión 13,25 veces mayor donde se retiraron residuos frente a donde se retuvieron (121,9 vs 9,2 KgCOS/ha erosionado respectivamente). Ernst (2008) aquí comenta que la reducción de pérdida de suelo por erosión depende de mantener el suelo cubierto por rastrojos o cobertura verde afirmando lo que mencionó con anterioridad en el 2003. En regiones donde existen procesos erosivos significativos, déficit de agua en el ciclo de los cultivos o problemas de degradación de los suelos, la siembra directa con acumulación de rastrojos en superficie se constituye en el manejo más adecuado (Morón, 2001).

La cantidad de residuos que se deja sobre la superficie cambia a través del tiempo y está condicionada por la ocurrencia de varios factores. La velocidad del proceso de descomposición modifica la presencia de residuos y depende en principio de las condiciones de temperatura, húmeda y de la actividad biológica. A su vez, la cantidad de residuos que se dejen en superficie determinará la cobertura del suelo que se obtenga (Velázquez et al., 2002).

Estudios realizados por Álvarez et al. (2006) sobre Hapludoles Típicos y Énticos de la región sub-húmeda pampeana luego de tres campañas agrícolas (soja-trigo-soja^{2da}-maiz) evaluando distintos niveles aportes de residuos (nulo, normal y doble aporte) determinaron que no hubo cambios en el contenido total de materia orgánica en los primeros 5 cm del perfil. Sin embargo al estudiar el contenido de materia orgánica de la fracción de 100 a 2000 micrones, si observan diferencias significativas, aumentando con el aporte de rastrojo.

Estudios realizados por Blanco-Canqui y Lal (2007), sobre diferentes suelos en el cinturón maicero de EEUU, determinaron tendencias generales a menores niveles de COS con mayor porcentaje de retiro de rastrojo en un sistema de maíz continuo bajo cero laboreo, estableciéndose diferencias estadísticamente significativas dependiendo del tipo de suelo. Los resultados surgen de 2 años y medio de evaluación. Para el caso de un suelo pesado con menos de 1% de pendiente, el COS en los primeros 2 cm descendió de forma lineal al aumentar el nivel de retiro (0, 25, 50, 75 y 100%), pero no hubo diferencias significativas entre tratamientos. Para un suelo franco limoso (Hapludol Típico, 6% de pendiente), retiros de hasta 25% del rastrojo no

generan caídas significativas en el COS (0-2cm), siendo a partir del tratamiento de 50% de retiro (incluido), donde hay significancia en las caídas (14% menos de COS con 50% de retiro frente al tratamiento de 0% de retiro), alcanzando niveles de COS 30% menores en el tratamiento con retiro total de rastrojo frente a 0% de retiro. Similar porcentaje (28,4) de detrimento en el COS fue observado cuando se amplió el estudio a los primeros 30 cm de perfil. En un suelo franco limoso, con pendiente de 2%, las reducciones en el COS (0-2cm) con hasta 50% de retiro no muestran significancia estadística, mientras que con mayores retiros las caídas en el COS alcanzan el 26%. Se concluye que los efectos desfavorables del retiro de rastrojo son más pronunciados en suelos sin hielo, bien drenados, con pendiente y susceptibles a la erosión. Los retiros de residuos no tendrían impacto inmediato en suelos con altos niveles de COS iniciales, frente a lo que podría suceder en situaciones con riesgo de erosión y baja fertilidad.

Con respecto a la relación entre el carbono orgánico del suelo y las propiedades del suelo, los efectos del cambio del carbono varían según el tipo de suelo. Blanco-Canqui (2013), comentó que incrementos en el carbono orgánico del suelo pueden tener mayor cantidad de efectos beneficiosos en suelos franco limosos que suelos arcillosos. Porque la fracción orgánica y arcillosa tiene propiedades similares (por ejemplo elevada área de superficie específica), y por ende altas concentraciones de arcilla puede reducir los beneficios provocados por los incrementos en el carbono orgánico del suelo.

Suelos con retención de residuos pueden almacenar algo del CO₂ atmosférico fijado por las plantas y con ello mitigar el efecto invernadero causado por dicho gas. El carbono orgánico del suelo incremento de 1,56 a 2,50 g kg⁻¹, en suelos con sistemas sin laboreo con retención de residuos durante 7 años en comparación con otros manejos de suelos en los cuales no se retienen los residuos (Yang et al., citados por Kong, 2013). Por otro lado en experimentos de 12 años indicó que en el estrato superior del suelo (0-20cm) el almacenamiento de carbono incremento significativamente con la tasa de retención de rastrojo, y la cantidad de residuos retenidos afecto positivamente en dicho estrato del suelo el efecto del secuestro de carbono cuando se aplicó fertilizantes (Lou et al., citados por Kong, 2013).

Lao et al., citados por Kong (2013), afirman que la mejora en la calidad del suelo se relaciona positivamente con la cantidad de residuos en el rango de 0-6,750 kg/ha, especialmente cuando se combina con la aplicación de fertilizantes.

Goaverts et al. (2006), sobre un experimento de 13 años de rotación trigo-maíz en México, determinaron los efectos del sistema de laboreo y preparación de cama de siembra, nivel de fertilización nitrogenada y el manejo de residuos, sobre diversos parámetros del suelo y de respuesta por parte del cultivo. El COS tendió a ser menor a medida que se reducía el aporte de residuos, pero las diferencias no fueron significativas. Hay que tener en cuenta que el suelo experimental tenía niveles de materia orgánica menores al 1%. A su vez estas diferencias fueron disminuyendo al aumentar los niveles de fertilización.

Estudios realizados por Laird y Chang (2013), sobre un Hapludol Típico de Waukegan (centro este de Minnesota, EEUU) determinaron los efectos del retiro de residuo de cosecha de maíz y soja durante 12 y 7 años respectivamente, en distintos sistemas de laboreo (solo se hará referencia a los resultados con cero laboreo). El retiro de residuo (estimado en un 90%) determinó niveles de COS (0-5 cm) 18,54% menores que el tratamiento donde el rastrojo fue dejado en superficie ($p < 0,10$). No se encontraron diferencias significativas trasladando el estudio a estratos inferiores del perfil.

El N total (0-5 cm) fue 19,29% menor donde hubo remoción de rastrojo ($p < 0,10$). También se detectaron diferencias significativas en la capa de 5 a 15 cm, siendo menor el cambio (-7,56% con $p < 0,01$).

Un parámetro que tuvo una importante variación fue el potencial de mineralización de nitrógeno (0-5 cm), el cual resultó un 49,94% menor donde se retiró el rastrojo, lo que indica una pérdida selectiva sobre la fracción lábil de la MOS como fruto de 19 años de retiro de los residuos de cosecha.

Sawchik y Morón, citados por Sawchik (2001), evaluando situaciones de retiro parcial y no retiro de rastrojo en un sistema de cultivo continuo bajo cero laboreo durante cuatro años en La Estanzuela, Uruguay, observaron caídas en

el contenido de N total cuando el rastrojo se retiró parcialmente, mientras que cuando este se deja el N total permanece constante.

A modo de resumen de esta sección, la bibliografía consultada en la mayoría de los casos encontró que el retiro de residuos en mayor o menor medida tienen impacto sobre el COS y/o el N total, donde la variabilidad en la magnitud de los efectos fue alta y en líneas generales está dada principalmente por el nivel de remoción de los rastrojos y el tipo de suelo en donde se llevaron a cabo las experiencias. Siendo conscientes de la variabilidad de resultados que presenta la práctica, se refuerza la necesidad de llevar a cabo estudios locales para conocer la respuesta del suelo y no comprometer la capacidad productiva de este recurso.

Como corolario, una afirmación que realiza en uno de sus trabajos Blanco-Canqui (2012), sugiere que prácticas que generen aportes de carbono orgánico o promuevan la producción de biomasa y secuestro de carbono luego de los retiros de rastrojo deben ser consideradas al desarrollar sistemas de producción sostenibles de biocombustibles.

2.1.2. Efecto sobre la dinámica del nitrógeno

El nitrógeno (N) es el nutriente más importante para la producción vegetal por las cantidades en que es demandado por los cultivos y porque generalmente es deficiente en los suelos agrícolas, especialmente para la concreción de altos rendimientos (Sawchik, 2001).

La concentración de nitrato en el suelo en determinado momento y para diferentes cultivos es el indicador más empleado para estimar la probabilidad de respuesta al agregado de N. Es un reflejo del balance de los procesos de mineralización e inmovilización que están ocurriendo en el campo (Sawchik, 2001).

Los rastrojos en superficie como ocurre en los sistemas de siembra directa además de producir ritmos de descomposición más lentos, también promoverían altos niveles de inmovilización de N (Morón, 2001). A su vez, menciona que se debe considerar que la distribución de los rastrojos de la cosecha de los cultivos puede ser desuniforme en cantidad y calidad. Esto

originaría heterogeneidad en el proceso de descomposición y liberación de N. En función de esto, con residuos de baja calidad (de alta relación C/N) los tiempos de barbecho necesarios para lograr una disponibilidad de N mineral aceptable deberían ser más largos que con residuos de baja relación C/N (Sawchik, 2001).

Goaverts et al. (2006), determinaron que la tasa de mineralización de N (analizada como tasa de acumulación de N inorgánico) fue un 25% mayor en tratamiento donde se retiró el rastrojo de maíz y se mantuvo el de trigo, frente al que se retuvieron ambos residuos. Por lo cual la incorporación de residuos con alta relación C/N inmovilizaría el nitrógeno y reduciría su disponibilidad para el cultivo.

2.1.3. Efecto sobre la implantación y rendimiento del trigo

Kong (2013) resume en una exhaustiva revisión de autores chinos (cuyos artículos comprenden el período entre el 2005 al 2010), seis efectos negativos de corto plazo por los cuales puede verse perjudicado el rendimiento de trigo en una rotación maíz-trigo. 1- El rastrojo puede actuar como barrera impidiendo un buen contacto entre la semilla y el suelo (Jia et al.) que provoque baja implantación del cultivo (Li et al.); 2- La menor temperatura del suelo por la retención del rastrojo puede incidir en disminuciones en la actividad radicular, actividad microbiana y enzimática del suelo (Yu et al.) ; 3- La retención de rastrojos puede favorecer al desarrollo de determinadas enfermedades que afecten el trigo; 4- Efectos alelopáticos sobre la germinación del trigo y vigor radicular (Zhang et al.), sin embargo, dicho efecto disminuye a medida que se descompone el rastrojo (Yang et al.); 5- Puede provocar stress por frío debido al aumento de la porosidad del suelo; 6- Inmovilización del nitrógeno.

A su vez Kong (2013), en su revisión pero en artículos cuyo período va entre el 2001 y el 2011, comenta una serie de efectos químicos positivos que se dan gracias a la presencia de rastrojo. La retención de residuos de maíz provoca incrementos significativos en las enzimas superóxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GPX) y la tasa de fotosíntesis neta (regulando el contenido de clorofila, la relación Clorofila(A)/Clorofila (B), la conductancia estomática, las concentraciones intercelulares de CO₂ y otras características de la fotosíntesis asociadas a la agronomía y fisiología). Este proceso da lugar a

una senescencia tardía de la planta e incrementos en la duración del llenado de granos, la tasa de llenado de los granos (Liu et al., Liu et al., Zheng et al., Zhu et al.), el número de espiguillas fértiles, y el número de granos por espiguilla tanto en el tallo principal como en los macollos (Qu et al.). El pH del suelo disminuye significativamente con la retención de residuos de maíz (Bai et al.), debido en gran parte a que el ácido orgánico y el CO₂ deriva a partir de los residuos de acuerdo con el crecimiento microbiano, la disminución del pH del suelo resulta en la mayor disponibilidad de nutrientes del suelo y una mejora en el crecimiento de trigo, en particular en suelos alcalinos.

En general, el rendimiento de trigo cuando los residuos de maíz no se remueven son mayores que cuando se remueven. (Lao et al., Liu et al., Ma et al., Zhang et al., Zhang et al., citados por Kong, 2013). En un experimento de 15 años sobre “Loess Plateau” (China), el rendimiento de trigo incremento entre un 11,7 y 97,6 % (promedio 27,6%) en sistemas sin laboreo con retención de residuos en comparación con laboreo convencional sin retención de residuos. El rendimiento de trigo varió según la precipitación anual (Wang et al., citados por Kong, 2013). El incremento en los rendimientos es atribuido al descenso de la densidad del suelo y al aumento de la retención de agua, textura del suelo, contenido de MOS, contenido de N alkali-hidrolizable, cantidad de K disponible, acumulación de materia seca (particularmente desde espigazón a madurez), y de la movilización de reservas hacia el grano (Shen et al., citados por Kong, 2013)

En condiciones de secano, 6.000 kg de residuos kg/ha es óptimo para la retención de humedad y el mantenimiento de un mejor régimen de temperatura del suelo durante toda la temporada de cultivo de trigo en comparación con otras prácticas de manejo (Yu et al., citados por Kong, 2013).

Rice, citado por Silva (2003) encontró que ácidos fenólicos presentes en residuos de avena, trigo, sorgo y maíz afectan el crecimiento de las plántulas de trigo, siendo el ácido p-cumárico el observado en mayor cantidad. Guenzi, citado por Silva (2003) determinó que la máxima toxicidad de los rastrojos de maíz y sorgo entre las 16 y 22 semanas desde que comienza la descomposición del mismo.

En la Pampa Argentina, disminuciones de COS de 1 Mg/ha en los primeros 20 cm del suelo, se asociaron a reducciones de 40 kg/ha en el rendimiento de trigo recabado de 134 productores (Díaz-Zorita et al., citados por Blanco-Canqui, 2013). Experimentos llevados a cabo por Blanco-Canqui et al. (2012) en Kansas (EEUU), sugieren que los efectos de las pérdidas de rendimientos en trigo debido al menor COS en parte son enmascarados por tasas muy altas de fertilización nitrogenada.

2.2. EFECTO DEL SORGO DULCE EN LA ROTACIÓN

La producción de bioetanol a partir de azúcares solubles contenidos en el jugo de los tallos de sorgo dulce (SD) resulta de un proceso más económico que a partir del almidón de maíz, dado que se evita el paso de desdoble de este último a azúcares solubles (Smith et al., Prasad et al., citados por Zegada-Lizarazu y Monti, 2012).

El cultivo de SD presenta una mayor adaptabilidad a distintos ambientes y condiciones de suelo que otros cultivos azucareros como la caña y remolacha. Frente al maíz tiene mayor tolerancia a deficiencias hídricas y una mayor eficiencia de uso del agua y nutrientes (Zegada-Lizarazu y Monti, 2012).

El rendimiento en etanol reportado para EEUU, bajo diferentes condiciones ambientales, estuvo entre los 2130 y 5700 L/ha, siendo los mayores obtenidos en el sur (Smith et al., citados por Zegada-Lizarazu y Monti, 2012). Siri Prieto (2013), en experimentos conducidos en Uruguay sobre un Argiudol Típico, reporta rendimientos teóricos en etanol entre 1682 y 1894 L/ha, bajo monocultivo de SD.

La inclusión de SD en una rotación agrícola, al ser un cultivo que se cosecha prácticamente la totalidad de la biomasa aérea, puede traer aparejada la pérdida de COS y N total por el escaso retorno de restos aéreos y el descenso del contenido de nutrientes en el suelo como puede ser el K^+ , principalmente cuando no son realizadas fertilizaciones pertinentes.

Experimentos conducidos por Siri Prieto (2013) demostraron que cuatro años de monocultivo de SD pueden reducir el K^+ intercambiable (0-20 cm) en un 45% frente una rotación con un cultivo de SD y luego pasturas. También se

redujeron los niveles de COS y N total en un 5,5% y 7,1%, respectivamente, para los tratamientos anteriormente descritos. Sin embargo, no parecería ser necesaria la inclusión de pasturas perennes para mitigar el efecto del SD en el COS y el N total, ya que con la inclusión de un cultivo de cobertura invernal puede limitarse la caída de COS y N total y obtener niveles similares a los conseguidos con la pastura de 3,5 años.

Según Aquino (2012), las extracciones de nitrógeno y potasio pueden superar los 3,22 y 3,91 kilogramos por tonelada de tallo fresco. Para disponibilidades medias de nutrientes y niveles de productividad medios, las recomendaciones de fertilización son de 90 a 140 KgN/ha, 60 a 90 KgP₂O₅/ha 80 a 120 KgK₂O/ha y 30 KgS/ha. Con respecto a micronutrientes son necesarias fertilizaciones de Cu, Zn y B del entorno de 1 kg/ha de cada uno.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EXPERIMENTO

3.1.1. Localización espacial y temporal

El trabajo se llevó a cabo en el potrero 31 de la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni, Facultad de Agronomía, departamento de Paysandú, en el periodo otoño-invierno-primavera del 2013.

El suelo sobre el cual se encuentra el ensayo es un Brunosol Eútrico Típico (Argiudol Típico) con una profundidad que varía entre 40 y 90 cm y una pendiente promedio del 1%, desarrollado sobre la Formación geológica Fray Bentos, perteneciente a la unidad San Manuel (Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay, escala 1:1.000.000, MAP. DSF, 1976)

3.1.2. Descripción del ensayo

El trabajo de tesis se desarrolla sobre un experimento instalado en el 2008, donde se evalúan cultivos energéticos y lignocelulósicos (sorgo dulce y switchgrass, respectivamente), así como la producción de grano y el retiro de residuos de cosecha de cultivos agrícolas tradicionales (sorgo, maíz y trigo) que componen las rotaciones bajo análisis. Estas secuencias de cultivos son dos, (maíz 1^{ra}-trigo-sorgo 2^{da}, Rot1) y sustituyendo el sorgo granífero por sorgo dulce se genera la segunda rotación agrícola (Rot2).

En el caso del retiro de residuos de cosecha, se evalúan tres niveles. El primero correspondiente a no realizar ningún manejo del rastrojo post-cosecha (0% de remoción). En el segundo caso se intenta obtener un retiro parcial (estimado en un 40%), mediante una pasada de rastrillo de soles post-cosecha. Por último, se busca lograr un máximo nivel de retiro (que se estima en un 80%) donde el manejo consistió en una pasada baja de la cosechadora a 20 centímetros del suelo y posterior rastrillada.

En la semana siguiente a la cosecha de maíz (realizada el 15/04) se llevaron a cabo los manejos de residuos previamente descritos en las 15 parcelas que involucraban al presente trabajo de tesis.

Previo a la siembra se aplicó glifosato a razón de 1680 gramos por hectárea de IA.

El 27/05 se sembró trigo variedad comercial Baguette 601 con sembradora directa a 19 cm, con una población objetivo de 35 plantas por metro lineal. El material utilizado se caracteriza por alta capacidad de macollaje y sincronización media del mismo, con un comportamiento plástico frente a la población, registrándose consistentes caídas de potencial por debajo de 20 plantas por metro lineal y por encima de 40 (Hoffman y Fassana, 2013). Junto con la siembra fue realizada una fertilización con fosfato de amonio (NPK 18-46/46-0) a razón de 100 kilogramos por hectárea.

En Z22 (18/07) y en Z30 (23/08) se realizaron refertilizaciones con urea granulada (NPK 46-0/0-0) a razón de 80 kg/ha.

A mediados de macollaje se realizó una aplicación de herbicida Chlorsulfuron a razón de 20 gr/ha de producto comercial genérico (75%).

El 7/10 se realizó una aplicación de fungicida mezcla triazol y estrobilurina (Allegro) a razón de 1 litro por hectárea, ante la aparición de *Pyrenophora tritici-repentis*.

La cosecha fue realizada el 18/11, manualmente.

3.2. DETERMINACIONES REALIZADAS

3.2.1. Pre-siembra

El 8/05 se determinó el porcentaje de cobertura generado por los residuos del cultivo de maíz en los diferentes tratamientos por intermedio del tendido de una cinta métrica en diagonal a la parcela, registrando presencia de rastrojo cada cinco centímetros y calculando la frecuencia sobre las 400 observaciones (en 20 metros).

Al mismo momento se realizó la determinación de la cantidad de rastrojo de maíz en superficie y su porcentaje de humedad, mediante tres muestreos al azar dentro de cada parcela con cuadrado de 30X30 cm, pesado en fresco, posterior secado de las muestras a 60°C por 48 horas y pesado en seco de las mismas.

Próximo a la siembra se realizó un muestreo de los primeros 20 cm del perfil con el objetivo de obtener datos de $N-NO_3^-$. También en esta instancia se obtuvieron muestras de suelo correspondientes a los estratos 0-5 y 5-20 cm con el objetivo de determinar P Bray 1, Nitrógeno total y Carbono Orgánico del Suelo (COS).

3.2.2. En cultivo

El 19/06 con el cultivo totalmente emergido se contabilizó la población lograda en los diferentes tratamientos por intermedio de conteo de plantas en 8 metros lineales de parcela

El 18/07 se realizó el muestreo de suelo para determinar el nivel de $N-NO_3$ en Zadoks 22 en cada tratamiento, cabe destacar que este al igual que otros muestreos no se realizaron para ajustar dosis (estas siempre fueron iguales y preestablecidas para todos los tratamientos) sino para el estudio de la dinámica del nutriente en los distintos tratamientos.

Entre el 18/8 y el 23/08 se realizaron los muestreos de plantas para el análisis de %N y biomasa total, por intermedio de corte de un metro lineal (representativo) en las parcelas con nulo retiro y dos metros lineales en los

otros dos tratamientos (con un metro no se llegaba al tamaño de muestra requerido por el laboratorio), estas muestras se secaron en estufa 60°C por 48 horas, se pesaron, procesaron en molino y enviaron al laboratorio. La explicación del rango de fechas recae en que los tratamientos con nulo retiro de rastrojo alcanzaron el estado Zadoks 30 antes.

El 2/09 se contabilizó la población de tallos del cultivo por intermedio del conteo de los mismos en 8 metros lineales.

3.2.3. Post-cosecha

El 18/11, seguido a la cosecha, se realizó el pesaje de los fardos y el conteo de espigas de los mismos (habida cuenta que correspondían a 8 metros lineales representativos de la parcela). Con estos datos se determinó el número de espigas por metro cuadrado, fertilidad de tallos y biomasa total en base fresca.

Inmediatamente se procedió a realizar la trilla de los fardos con una trilladora estacionaria, obteniendo datos de rendimiento (y por consiguiente el índice de cosecha) de cada parcela, peso hectolítrico (con instrumental de pesaje de ¼ litro) y porcentaje de humedad (con medidor de humedad “Dickey John”). Luego se determinó el peso de mil granos (PMG) realizando tres conteos de 100 granos por muestra. En función de este último parámetro se calculó el número de granos por metro cuadrado y por espiga.

3.2.4. Diseño experimental

El diseño utilizado fue bloques completos al azar con arreglo factorial 2x2, con un tratamiento adicional, sin anidamiento. Donde los niveles de ambos factores (Rotación y Nivel de retiro) corresponden a las dos secuencias anteriormente descritas y los niveles de retiro nulo y máximo, con el agregado del retiro parcial a la rotación con sorgo granífero (Rot1), resultando en cinco tratamientos, a saber:

- Rotación 1/No retiro de rastrojo (Rot1/NR)
- Rotación 1/Retiro parcial de rastrojo (Rot1/RP)
- Rotación 1/Máximo retiro de rastrojo (Rot1/MR)
- Rotación 2/No retiro de rastrojo (Rot2/NR)
- Rotación 2/Máximo retiro de rastrojo (Rot2/MR)

3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos se analizaron con el software estadístico InfoStat (versión 2008). Para ello se evaluaron los efectos retiro, rotación, e interacción mediante contrastes ortogonales. A su vez dentro de la Rotación 1, aprovechando que los niveles del factor retiro pueden considerarse cuantitativos y equidistantes (NR= 0; RP=40; MR=80) se investigó la posible presencia de tendencias polinómicas lineales y cuadráticas. Finalmente se realizó una prueba de comparación de medias para los cinco tratamientos evaluados. Se trabajó con probabilidad de error 0,05 y 0,10.

3.3.1. Modelo estadístico

El experimento en cuestión se analizó con el siguiente modelo estadístico.

- $Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$

Dónde:

Y_{ij} = La variable de respuesta.

μ = Media Poblacional.

T_i = Efecto tratamiento en el i ésimo muestreo.

β_j = Efecto bloque en la j ésima repetición.

ε_{ij} = Error experimental.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL AÑO

4.1.1. Precipitaciones

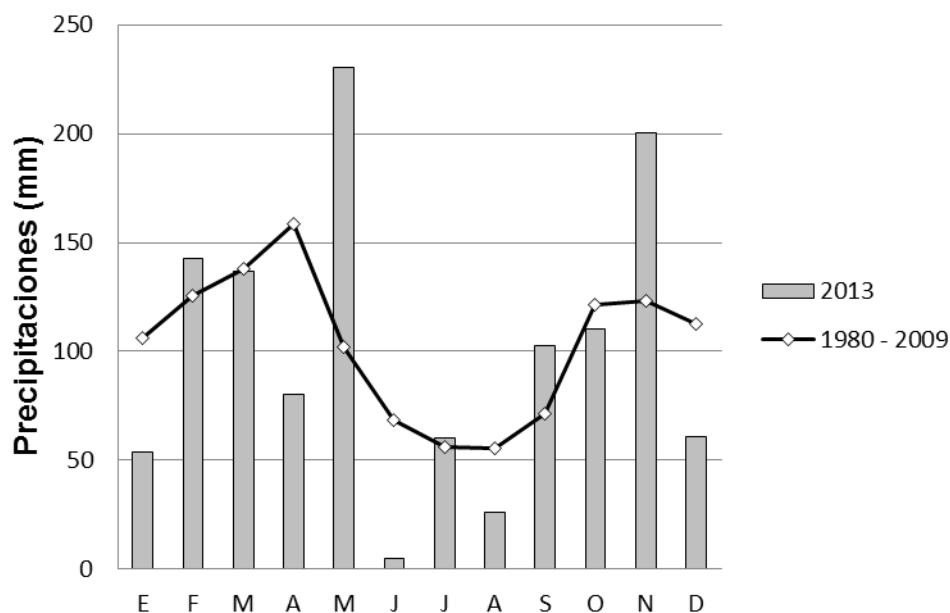


Figura 1. Precipitaciones mensuales registradas en EEMAC durante el año 2013 y datos históricos de precipitaciones mensuales para Paysandú (serie 1980-2009, Castaño et al., 2011).

La siembra fue retrasada debido al exceso de precipitaciones ocurrido durante el mes de mayo (230 mm) (figura 1), logrando realizarla al fin de este mes con suelo sin limitantes hídricas. Luego se ingresa en un periodo con registros pluviométricos por debajo de los normales, donde en el mes de junio casi no se registraron lluvias, julio se pareció a la media histórica y en agosto llovió la mitad que lo que muestra la serie, lo que arroja un acumulado de 91 mm para estos tres meses. En el bimestre setiembre-octubre las precipitaciones fueron similares a los registros históricos y finalmente en el mes de noviembre precipitaron en el entorno de 100 mm previo a madurez fisiológica (aproximadamente 10/11).

En resumen se registraron 436 mm en 64 eventos de precipitaciones, donde en 34 ocasiones no alcanzaron al mm/día, 23 eventos correspondieron a días con lluvias entre 1 y 20 mm, y finalmente hubo siete eventos con registros de más 20 mm. Si a lo precipitado se le suma el agua disponible en el suelo al momento de la siembra se contaron con más de 500 mm durante el ciclo del cultivo, lo que a priori no definiría al agua como una limitante para el crecimiento del mismo. Hay que tener en cuenta que no toda el agua que precipita queda disponible para el cultivo, hay pérdidas por escurrimiento, drenaje profundo, consumo por parte de malezas y evaporación directa, donde esta última fue apreciada claramente al comparar los tratamientos donde no se había realizado retiro de rastrojo frente a los de máximo retiro, observándose en estos últimos un suelo claramente más seco en los primeros centímetros (pese a que no se realizaron medidas objetivas del contenido de agua). Lo que da lugar a pensar que el agua fue deficiente, al menos en los casos anteriormente descritos, durante el periodo de macollaje a inicios de encañazón. Luego en setiembre y octubre mejoraría la situación hídrica, aunque la cantidad de precipitaciones registradas sumadas a un suelo con poca agua acumulada, no serían suficientes para concretar los máximos rendimientos. Datos obtenidos por Hoffman y Fassana (2013), en la misma estación experimental, indicarían que los máximos rendimientos (unos 6000 kg/ha) se lograrían con aproximadamente 400 mm de agua disponible aparente (agua en el suelo al inicio + precipitaciones) en las fases de alto crecimiento del cultivo (a partir de encañazón). Investigaciones realizadas por Villar (2001), en el INTA EEA Rafaela (Argentina), determinaron diferencias en las tasas de consumos de agua en trigo con riego y en seco, en especial a partir de los 80 días post-siembra (encañado). Con un umbral de riego de 60% del agua disponible en el perfil, los consumos aparentes totales en el ciclo del cultivo fueron 566 mm para los tratamientos con riego y 289 mm para seco, promedio dos épocas de siembra y dos cultivares. Lo que indica que el crecimiento en seco se vieron limitados por agua.

4.1.2. Temperatura

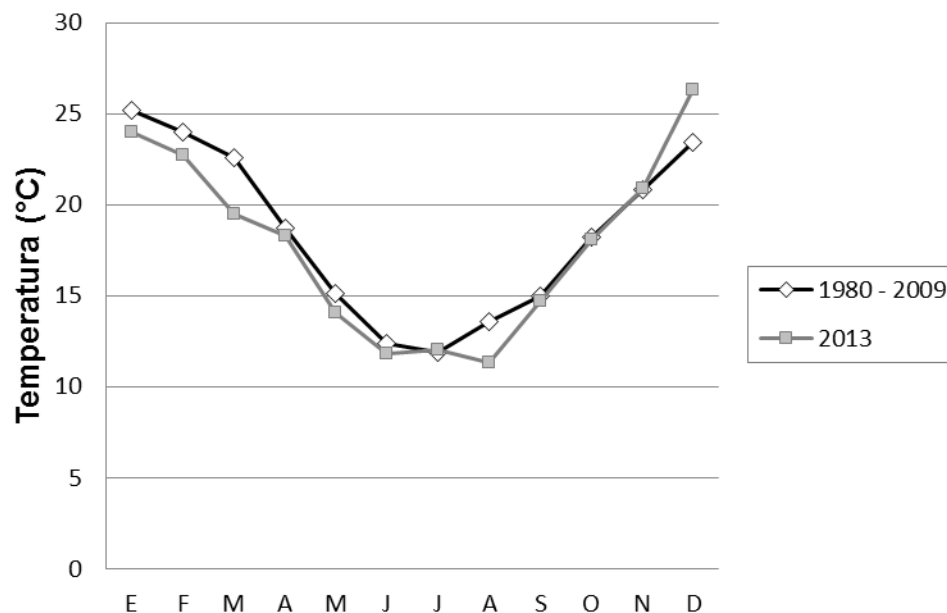


Figura 2. Temperaturas medias mensuales registradas en EEMAC durante el año 2013, y datos históricos de temperaturas medias mensuales para Paysandú (serie 1980-2009, Castaño et al., 2011).

En el 2013 la temperatura media mensual fue generalmente menor que la de la serie histórica, lo cual se considera una situación favorable para la construcción y concreción de altos potenciales de rendimiento. Al hacer foco en los meses donde se ubicó el cultivo, junio 2013 resultó 0,6 °C más fresco que el promedio histórico, por se genera un ambiente propicio para el desarrollo inicial del cultivo y evitar desincronización de tallos. El mes de agosto fue marcadamente más frio que la serie (2,3°C menos que el promedio para agosto), por lo cual se extendió el periodo de macollaje, permitiendo un desarrollo parejo de los tallos (base para una alta fertilidad de los mismos) y a su vez la generación de alto potencial de rendimiento por espiga, característica importante en este cultivar (Hoffman y Fassana, 2013). Finalmente, el cultivo ubicó el llenado de grano en octubre y la primera década de noviembre, con temperaturas favorables.

4.2. RENDIMIENTO DEL CULTIVO ANTECESOR (MAÍZ)

Cuadro 1. Rendimiento del antecesor (maíz 12/13)

Tratamiento		
Rotación	Retiro	Rend 13% humedad (Kg/ha)
1	NR	3240 a
	RP	4120 a
	MR	3010 a
2	NR	4520 a
	MR	4130 a

Letras distintas muestran diferencias significativas ($p < 0,10$). Fuente: Siri Prieto et al.¹

Las tendencias marcan que el tratamiento con retiro parcial de rastrojo de trigo sería el de mayor rendimiento de maíz, seguido por el no retiro, y finalmente el peor caso corresponde a las parcelas con máximos retiros, siendo esto último factor común en ambas rotaciones agrícolas.

Los resultados obtenidos se pueden interpretar tomando en cuenta dos efectos. En primer lugar el rastrojo actúa como una barrera a la pérdida de agua del suelo por evaporación directa, dado reduce la temperatura de los estratos superficiales y no permite que el viento remueva el aire húmedo de la superficie y acelere el proceso de pérdida de agua. A su vez los restos generan cobertura que limita el escurrimiento superficial, lo que mejora la infiltración del agua en el perfil. Por otro lado, una excesiva cantidad de residuos en superficie puede ser una barrera física al momento de la siembra, no permitiendo lograr una buena implantación del cultivo y lograr la población óptima que maximice el rendimiento (la capacidad de compensación vegetativa y reproductiva del maíz es muy baja).

¹ Siri Prieto, G. 2013. Efecto de retiro de residuos de cosecha en una rotación trigo-sorgo-maíz sobre la implantación y rendimiento de cultivos de verano (sin publicar).

4.3. RASTROJO DE MAÍZ (Kg/HA Y % DE COBERTURA)

El retiro de rastrojo afecta directamente la cantidad del mismo que queda sobre el suelo siendo esta determinante en el grado de cobertura que se logra. Esto último como se mencionó anteriormente es de vital importancia en la reducción de la pérdida de suelo por erosión hídrica, sumado esto a otras implicancias que tiene para el ambiente en el cual se desarrolla un cultivo (disponibilidad de agua, nutrientes, temperatura del suelo, propiedades físicas, actividad microbiana).

En el siguiente gráfico se observa el resultado obtenido en las determinaciones de cantidad de rastrojo de maíz remanente y porcentaje de cobertura generado por este para los cinco tratamientos evaluados.

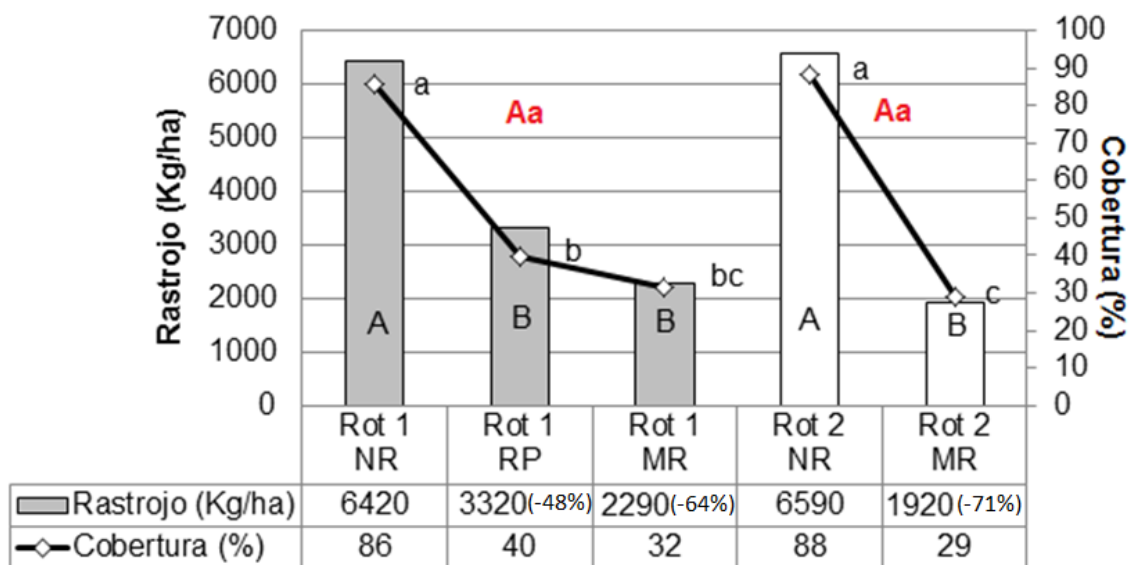


Figura 3. Cantidad de rastrojo en superficie y porcentaje de cobertura del suelo generado por los cinco tratamientos evaluados. Letras distintas mayúsculas (cantidad de rastrojo) y minúsculas (% cobertura) muestran diferencias significativas ($p < 0,10$) entre tratamientos. Letras rojas muestran efectos aislados de rotación (contrastes).

La rotación no tiene efecto significativo en la cantidad de rastrojo de maíz remanente luego del retiro ni en el porcentaje de cobertura generado por el mismo, al igual que en el resto de las variables medidas en el presente

trabajo, por lo cual el efecto de principal impacto en generar diferencias entre los tratamientos es el manejo del rastrojo. Por otro lado, los valores obtenidos de retiro de rastrojo (%) dentro de la rotación 1 no fueron equidistantes, por lo cual se descarta el análisis de tendencias tanto lineales como cuadráticas para todas las variables.

Como era de esperar, el retirar el rastrojo tiene efecto significativo sobre la cantidad remanente y el porcentaje de cobertura cuando se comparan los tratamientos con retiro frente a los sin retiro, y no siendo significativa la diferencia entre los retiros parciales y máximos ($p < 0,10$). La cobertura generada en los tratamientos sin la remoción de residuos es muy alta lo cual refuerza la importancia de cultivos como el maíz y el sorgo produciendo alta cantidad de rastrojos de difícil descomposición, aportando positivamente a la reducción de la pérdida de suelo. Contrariamente a lo esperado no hubo diferencias entre los tratamientos de máximo retiro y retiro parcial de rastrojo, esto se atribuye a los métodos experimentales empleados en la instalación de los ensayos. A pesar de ello, la tendencia marca una mayor cantidad de rastrojo y cobertura generada con retiro parcial, lo cual puede establecer diferencias sustanciales en la reducción de la pérdida de suelo, siendo esto más importante a bajos niveles de cobertura (0-50%).²

² García Préchac, F. 2013. Com. personal.

4.4. CARBONO ORGÁNICO Y NITRÓGENO TOTAL

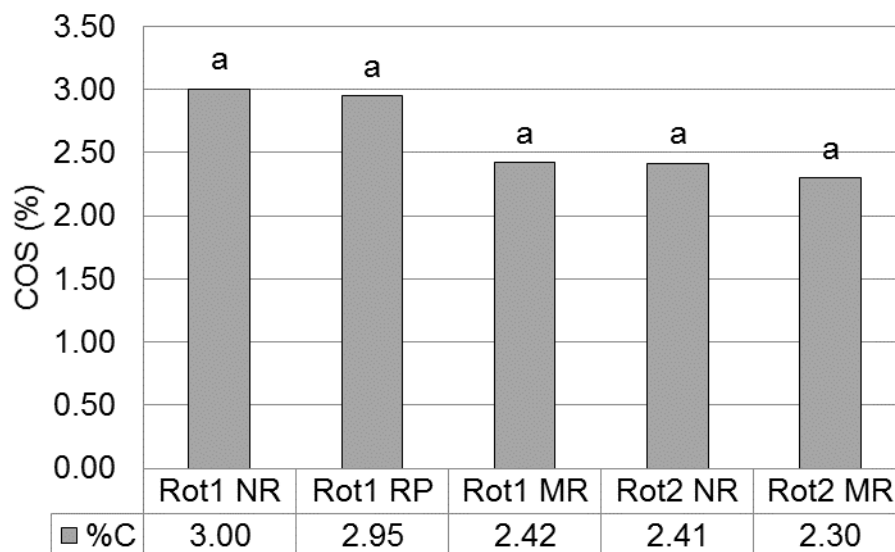


Figura 4. Concentración de carbono orgánico del suelo (COS) de 0 a 5 cm, según tratamiento. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,10$)

Después de cuatro años de instalado el experimento y realizados los manejos de rastrojos descritos no se registraron diferencias significativas en los contenidos de COS entre tratamientos. Tampoco fueron significativos los efectos individuales de los factores analizados en los contrastes. Aun así, se observa una tendencia a un menor contenido de COS en los tratamientos Rot1/MR, Rot2/NR y Rot2/MR frente a los tratamientos Rot1/NR y Rot1/RP. Esto se explica por dos motivos, por un lado hay una mayor exportación de carbono del sistema en los tratamientos primeramente mencionados, tanto sea sorgo grano o sorgo dulce se cosecha prácticamente la totalidad de la biomasa aérea, con muy bajos niveles de retorno del carbono secuestrado hacia el suelo. Otra interpretación recae en los mayores niveles de erosión estimable para estos tratamientos, dado que mantienen un muy bajo nivel de cobertura en el invierno, y a pesar del bajo riesgo de erosión del suelo experimental, dado por una baja pendiente (1%), los primeros milímetros son los que más carbono contienen haciendo esto cobrar importancia el limitar al máximo la pérdida de suelo y por ende la salida de COS del sistema. Para el estrato comprendido

entre los 5 y 20 cm del perfil tampoco se hallaron diferencias significativas ($p < 0,10$) entre tratamientos. Estos resultados obtenidos concuerdan en cierta medida con los datos manejados con la bibliografía consultada, donde se maneja una gran variabilidad en el tiempo que debe trascurrir para que se detecten cambios en los contenidos de COS. Laird y Chang (2013) sobre Hapludoles Típicos en 19 años no encontraron diferencias significativas en profundidad (5 a 30 cm), mientras que en los primeros 5 cm el COS cae aproximadamente 18%. Blanco-Canqui y Lal (2007) no encontraron diferencias significativas en suelos pesados para los 2 primeros cm del perfil, en dos años y medio de estudio.

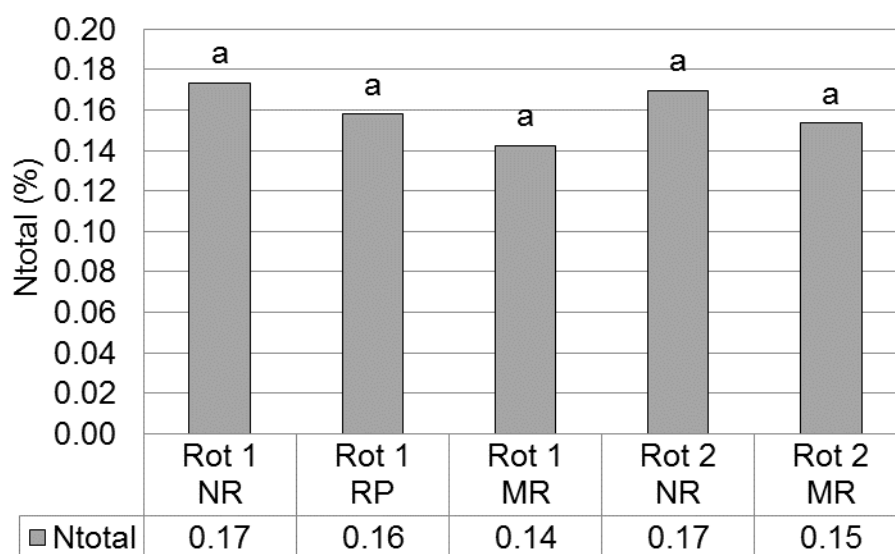


Figura 5. Concentración de nitrógeno total en suelo de 0 a 5 cm, según tratamiento. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,10$)

Al igual que para el COS, ni el manejo del rastrojo ni la rotación tuvieron efecto significativo en el N total del suelo. Simplemente se observaron como en el caso del COS tendencias similares en las cuales los tratamientos con mayor retorno de residuos tendrían un mayor contenido de nitrógeno total en los primeros 5 cm del perfil. No se observan cambios significativos en el estrato de 5 a 20 cm del perfil luego de cinco años de iniciado el experimento. A todo esto no hay que dejar de lado que los valores de obtenidos son muy bajos, pudiendo ser unas de las razones por la cual no se detectaron cambios.

Las mismas razones explicitadas para el caso del COS pueden ser atribuibles. Esto difiere con lo expuesto por Sawchik (2001), que en cuatro años de retiro parcial de residuos en cultivo continuo bajo cero laboreo detectó caídas en el contenido de nitrógeno total del suelo (0-7,5 cm). Las diferencias pueden atribuirse a las secuencias de cultivos empleadas y/o a las características del suelo (ubicación, pendiente, intrínsecas del perfil) donde se llevaron a cabo los distintos experimentos.

4.5. DINÁMICA DEL NITRÓGENO

Con el objetivo de estudiar la dinámica del nutriente durante el ciclo del cultivo se realizaron las determinaciones del mismo en los momentos críticos propuestos para su corrección (Hoffman et al., 2010). A continuación se presentan los resultados.

Cuadro 2. Evolución del contenido de N-NO₃⁻ (0-20 cm) en el suelo (siembra y Z22) y %N en planta a Z30 según tratamientos.

Rotación	Retiro	N-NO ₃ Siembra (ppm)	N-NO ₃ Z22 (ppm)	N (%) Z30
Rot 1	NR	1,8 b	5,7 c	3,06 b
	RP	2,9 a	11,9 a	3,50 ab
	MR	2,4 ab	9,4 ab	3,74 a
Rot 2	NR	2,5 ab	6,6 bc	3,09 b
	MR	2,4 ab	11,4 a	3,60 ab

Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,10$)

Los niveles de N-NO₃⁻ en suelo a la siembra fueron muy bajos en todos los tratamientos, independientemente de las diferencias estadísticas entre algunos de ellos. Esto se explica por las precipitaciones ocurridas en el mes de mayo (230 mm en total y 187 mm estrictamente antes de la siembra), las que seguramente hayan contribuido a la lixiviación de nitratos y por ende limitó la expresión de diferencias claras entre tratamientos. Los resultados esperables correspondían a mayores niveles de N-NO₃⁻ para los tratamientos con retiro total de rastrojo, dado que se eliminaba el efecto de la inmovilización generado por la descomposición de los restos aéreos (habiendo transcurrido poco más de un mes desde los manejos de residuos y el muestreo de suelo) frente a los tratamientos con retiro parcial y sin retiro (Morón 2001, Kong 2013)

Para N-NO_3^- a Z22, los resultados obtenidos se acercaron a los esperados (menor disponibilidad de N a mayor cantidad de rastrojo en superficie). Dentro de la Rotación 2 son elocuentes y estadísticamente significativas las diferencias entre los dos manejos contrastantes del rastrojo, a favor del retiro. Considerando lo que menciona Sawchik (2001), donde N-NO_3^- en suelo es un reflejo del balance de los procesos de mineralización-inmovilización que están ocurriendo en el campo, puede interpretarse si bien el mayor retiro de residuos impacta en una menor inmovilización de nitrógeno (efecto beneficioso en el corto plazo), con retiros parciales se mejoraría la capacidad de aporte de nitrógeno dado que aumentan los inputs al balance de COS y N total del suelo (efecto de largo plazo).

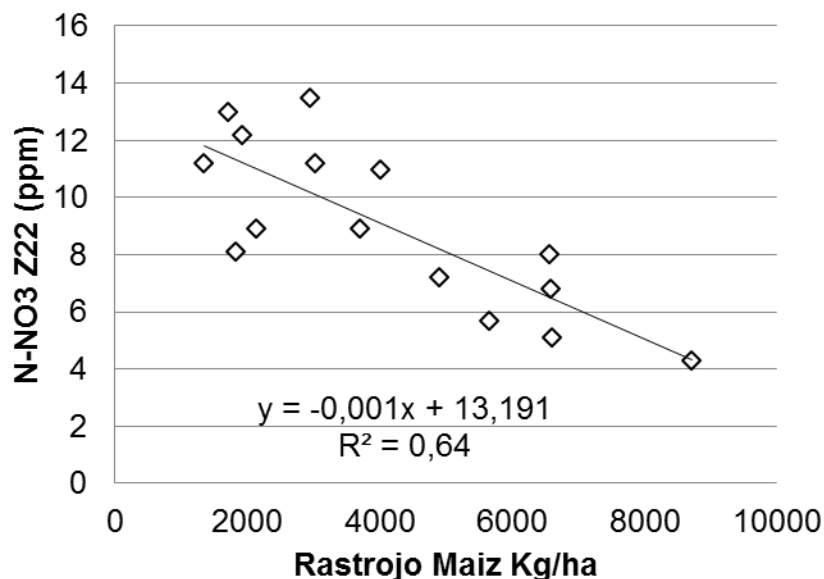


Figura 6. Nivel de N-NO_3^- a Z22 en cada unidad experimental en función de la cantidad de residuos de maíz en superficie.

Observando la figura 6, puede atribuírsele a la inmovilización provocada por los residuos en superficie gran parte de la variabilidad en los valores de N-NO_3^- correspondientes a cada parcela. Sin embargo en el gráfico pueden establecerse dos zonas, una comprendida entre 4000 y 9000 kg rastrojo/ha en la cual los datos parecen ceñirse más al modelo y otra hasta los 4000 donde la dispersión es mayor, siendo aquí donde cobran mayor peso relativo otros factores, donde la capacidad de aporte de N por parte del suelo aparece como el principal de ellos.

Cuadro 3. Variables Biomasa Z30, porcentaje de nitrógeno en planta a Z30 y Kg de nitrógeno absorbido a Z30. Según tratamientos.

Rotación	Retiro	Biom Z30 (kgMS/ha)	N (%) Z30	N Abs Z30 (kg/ha)
Rot 1	NR	1480 a	3,1 b	45,3 a
	RP	1290 a	3,5 ab	45,2 a
	MR	1250 a	3,7 a	46,8 a
Rot 2	NR	1720 a	3,1 b	53,1 a
	MR	1150 a	3,6 ab	41,4 a

Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre medias ($p < 0,10$)

Con respecto a lo sucedido en %N a Z30, se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, al igual que la prueba de contraste ortogonales entre los retiros máximos y no retiros de ambas rotaciones ($p=0,0045$). Similares resultados se obtuvieron en el contraste para biomasa acumulada a Z30 ($p=0,0317$). En este caso el efecto de la inmovilización puede relativizarse al contar con datos objetivos de crecimiento a Z30 (Figura 6), donde el mismo fue mayor en las situaciones donde se retuvo el rastrojo en superficie, conduciendo esto a una dilución del contenido de N en plantas más grandes. A partir de ambas variables puede construirse un indicador que es el nitrógeno total absorbido a Z30, donde no hubieron diferencias estadísticamente significativas ni para los tratamientos ni para los contrastes estudiados, con pero con una interesante tendencia positiva hacia el no retiro en Rotación 2, donde como se verá más adelante fue donde se registraron los resultados más contrastantes en rendimiento.

4.6. COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DE TRIGO

Cuadro 4. Componentes del rendimiento según tratamientos y resultados de los contrastes estudiados

Tratamiento	Pl/m ²	Mac/pl	Mac/m ²	Esp/m ²	Grn/m ²	PMG (g)	Rend(14%)
Rot 1 / NR	137 b	6,3 a	857 a	446 a	15430 a	32,0 a	4690 ab
Rot 1 / RP	163 ab	5,1 ab	820 a	439 a	15240 a	32,8 a	4730 ab
Rot 1 / MR	190 a	4,1 b	775 a	416 a	14100 a	33,3 a	4430 ab
Rot 2 / NR	153 ab	5,6 ab	856 a	449 a	15890 a	33,2 a	5230 a
Rot 2 / MR	186 a	4,3 b	783 a	394 a	13170 a	32,4 a	3840 b
Probabilidad	0,0231	0,0184	0,5075	0,1701	0,2837	0,3699	0,0539
C.V. (%)	10,23	13,35	8,79	6,48	10,52	2,55	9,97
Contrastes							
Rotación	0,5622	0,4894	0,9343	0,5733	0,802	0,8406	0,9181
Retiro	0,0023	0,0018	0,0954	0,0298	0,0543	0,6409	0,0138
Interacción	0,3195	0,2831	0,9108	0,4427	0,4626	0,0641	0,0645

Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,10$)

4.6.1. Efecto en la implantación

El retiro de rastrojo tuvo efecto significativo en la implantación del trigo, lográndose una mayor stand de plantas en los tratamientos con máximo retiro del rastrojo, independientemente de la rotación (ver contrastes en cuadro 4). Se observó un comportamiento intermedio dentro de la Rotación 1 por parte del retiro parcial, confirmando la mejora en la implantación al aumentar la intensidad de remoción del residuo. Considerando lo anterior se puede obtener la siguiente asociación entre la población obtenida y la cantidad de rastrojo de maíz sobre la cual se intenta sembrar, en condiciones de agua no limitante y equipo de siembra directa corriente, buscando lograr 35 pl/m.

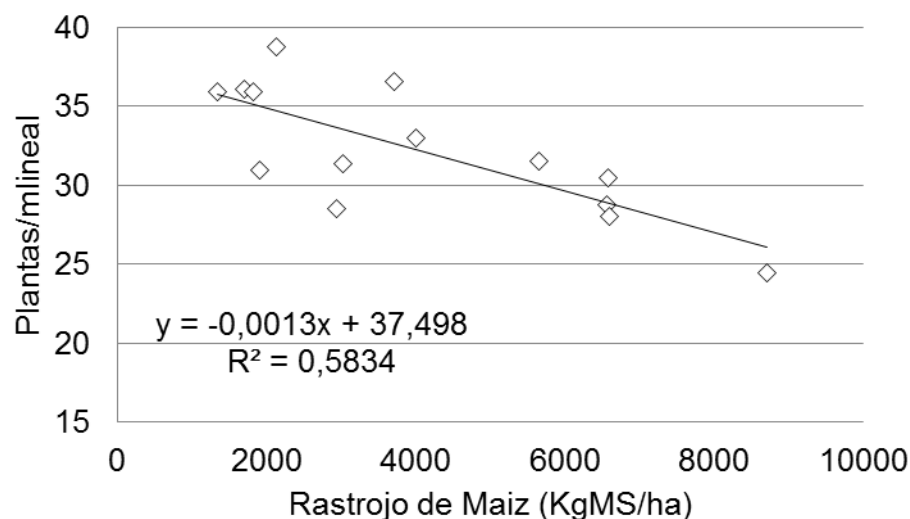


Figura 7. Regresión lineal entre la población lograda y la cantidad de rastrojo previo a la siembra

Los resultados son consistentes con la bibliografía consultada, a medida que aumenta la cantidad de rastrojo de maíz sobre el cual se siembra, la población lograda es menor (sin variar la densidad de siembra), dado que se empeora el contacto suelo-semilla la cual queda “colgada” en el rastrojo introducido al surco por el disco (Kong, 2013).

A pesar de ello, la población obtenida en el peor caso (máxima cantidad de rastrojo) no fue limitante para el rendimiento, sino que todo lo contrario, fue allí donde se logró el mejor desempeño del cultivo. Vale recordar que el material utilizado es muy plástico en este sentido, el cual tiene buen comportamiento dentro de un amplio rango de población (20-40 pl/m), pero mostrando fuertes caídas en rendimiento fuera de éste (Hoffman y Fassana, 2013).

4.6.2. Efecto en el macollaje

El número de tallos o macollos por metro cuadrado no fue afectado por ninguno de los cinco tratamientos ni por los efectos aislados de los factores evaluados en los contrastes para con 10% de probabilidad de error, sin embargo se torna positivo el efecto del retiro al bajar la exigencia a 10% (ver cuadro 4), obteniéndose mayor número de tallos en los tratamientos con retención de residuos frente al máximo retiro, independientemente de la

rotación ($p=0,0954$). Se encontraron diferencias significativas en el macollaje visto por planta, donde al comparar los manejos de rastrojos extremos (en ambas rotaciones), el contraste fue altamente significativo ($p=0,0018$), observándose que a mayor nivel de retiro de rastrojo, menor número de macollos por planta. Esto no hace más que obedecer a la asociación existente entre la cantidad de plantas y la capacidad individual de producir macollos en competencia.

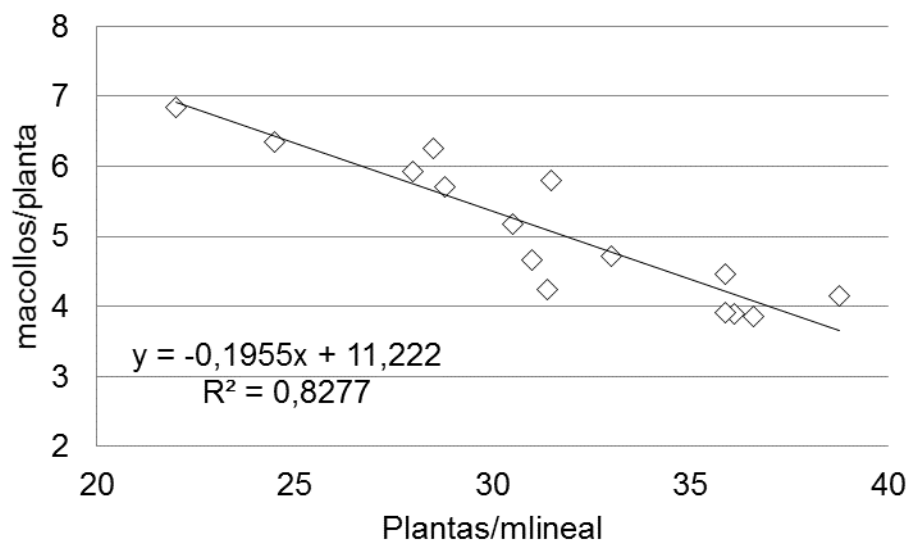


Figura 8. Regresión lineal entre las variables macollos por planta y plantas por metro lineal

Resulta contundente el aumento de la capacidad de producir tallos de las plantas al reducir la competencia, principalmente por luz, cuando se disminuye la población. Esto resulta en cambios en la calidad de luz incidente en la base de las plantas, donde a menor cantidad de ellas hay una relación más favorable hacia el rojo, favoreciendo la emisión de nuevos macollos. Esta producción de macollos por partes de las plantas permitió compensar (inclusive más que compensar comparando NR vs MR) la baja implantación obtenida en los tratamientos con mayor cantidad de rastrojo en superficie, lo cual se observa en la cantidad de tallos por unidad de superficie no siendo significativamente diferente entre tratamientos ($p=0,17$).

4.6.3. Efecto en la fertilidad de tallos, población de espigas

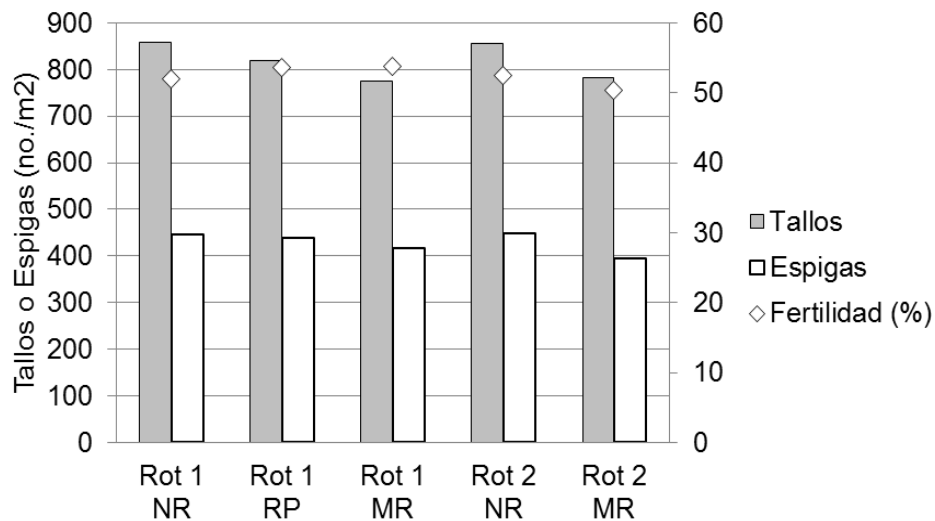


Figura 9. Tallos (no./m²), fertilidad de tallos (%) y población de espigas (no./m²), según tratamientos (ns)

No se registraron diferencias significativas entre tratamientos para ninguna de las tres variables. La población de espigas en cada tratamiento estuvo determinada principalmente por el número de tallos generados, y no tanto por su fertilidad, más allá de que ninguna de las dos fuera estadísticamente significativa.

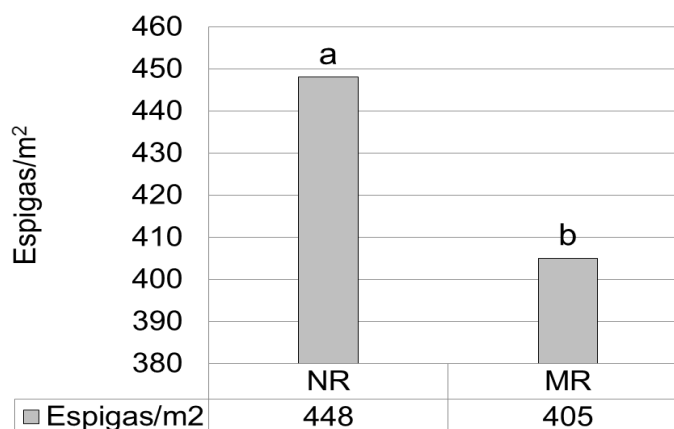


Figura 10. Efecto del retiro de rastrojo en la población de espigas, para ambas rotaciones ($p=0,0298$). Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre medias ($p<0,10$)

Por otra parte, hubo efecto altamente significativo en la población de espigas por parte del retiro de rastrojo al comparar los manejos contrastantes (NR vs MR) independientemente de la rotación, atendiendo a lo sucedido para macollos por unidad de superficie, los cuales tuvieron el mismo comportamiento. El componente espigas por unidad de superficie es el que mayor impacto tiene en determinación de los rendimientos, principalmente al comparar manejos contrastantes, siendo un 11% mayor en el NR.

4.6.4. Granos (por espiga y por m²)

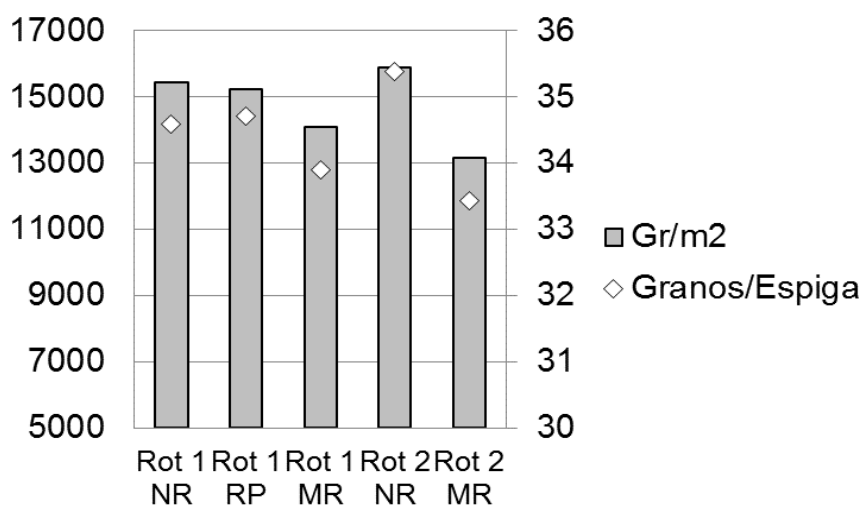


Figura 11. Tamaño de espiga (no. granos/esp) y número de granos por m², según tratamientos. Sin diferencias significativas ($p < 0,10$).

Las características del ambiente entorno a la determinación del número de granos por espigas permitió un desempeño del cultivar el cual concretó un número de granos sin diferencias significativas entre tratamientos. Si bien no hubo diferencias significativas en el contraste, (NR vs MR) se puede observar una leve tendencia a mayor tamaño de espigas en los tratamientos sin retiro. Esto puede deberse a mejores condiciones de crecimiento (principalmente dinámica del agua en el suelo), y por ende mayores tasas del mismo en el período que se produce la elongación del tallo y simultáneamente el crecimiento de la espiga dentro de este, entre los cuales se genera una fuerte competencia (Miralles, 2004). También la bibliografía consultada hace referencia al aumento del número de espiguillas fértiles y granos por espiguilla en trigo con residuos

de maíz en superficie frente al cultivo creciendo sin rastrojo, tanto en el tallo principal como en los macollos, debido a un aumento en la actividad enzimática y tasa fotosintética (Qu et al., citados por Kong, 2013).

En el caso de los granos por unidad de superficie existe un comportamiento similar al observado para tamaño de espiga, con mayor número en ausencia de retiro, pero la prueba de contraste aquí sí evidenció efecto significativo del retiro de rastrojo ($p < 0,10$) (figura 10).

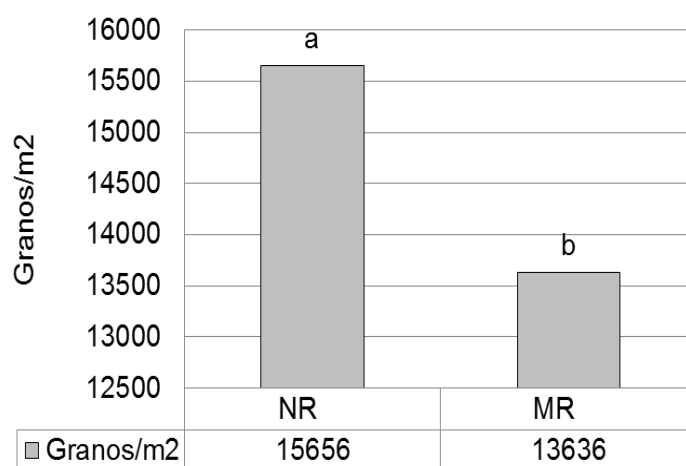


Figura 12. Granos/m² según manejos contrastantes de rastrojo, para ambas rotaciones. Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre medias ($p < 0,10$)

Esto responde directamente a las diferencias establecidas anteriormente para la variable espigas por unidad de superficie, donde se obtuvo un mayor número de estas con rastrojo en superficie ($p = 0,0298$), dejando en claro su mayor importancia relativa en la construcción del número de granos por m² en comparación con el tamaño de las mismas.

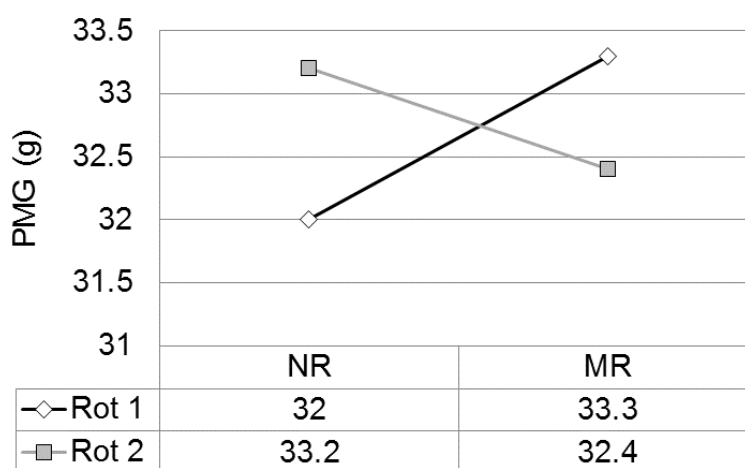
4.6.5. Peso de mil granos

Cuadro 5. Peso de mil granos según tratamientos

Tratamiento	PMG (g)
Rot 1/NR	32,0 a
Rot 1/RP	32,8 a
Rot 1/MR	33,3 a
Rot 2/NR	33,2 a
Rot 2/MR	32,4 a
Probabilidad	0,3699
C.V. (%)	2,55

Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,10$)

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para el peso de granos en los tratamientos evaluados. Sin embargo fue significativa ($p < 0,10$) la prueba de interacción rotación-retiro. Puede apreciarse una leve tendencia en la rotación 1 donde se registran mayores pesos de grano a medida que el nivel de remoción de residuos aumentó, pudiendo explicarse esto en función de la lógica de que a menor número de granos a llenar estos resultan más pesados, como mecanismo de compensación que opera dentro de ciertos límites y condiciones.

Figura 13. Interacción rotación-retiro observada para PMG ($p = 0,0641$)

La interacción mostrada en la figura 13 es un reflejo de que lo anteriormente descrito solo puede aplicarse para ciertas situaciones en que las limitantes impuestas por las condiciones del ambiente permitan la expresión de este mecanismo de compensación. En el caso de la Rotación 2, se manifiesta lo contrario a la Rotación 1, dado que en los tratamientos con máximo retiro, que son los que presentan menor número de granos por unidad de superficie, registraron un menor peso de los mismos. Esto puede interpretarse como que el ambiente generado por el máximo retiro (dentro de la Rotación 2) además de lograr un bajo número de granos, no permitió concretar un alto peso de los mismos.

Liu et al., Zheng et al., Zhu et al., citados por Kong (2013), son coincidentes con Qu et al., citados por Kong (2013) en el aumento de la actividad enzimática y mejora de la tasa fotosintética neta en el periodo de espigazón a madurez cuando se deja rastrojo en superficie, pero hacen hincapié en beneficios durante llenado de grano, el cual se produce a mayor tasa y se prolonga por un aumento en la duración del área foliar.

4.6.6. Rendimiento

Cuadro 6. Biomasa total aérea, índice de cosecha, rendimiento en grano y rastrojo generado en los cinco tratamientos evaluados

Tratamiento	BioTA (Kg/ha)	IC (%)	Rastrojo (Kg/ha)	REND 14% (Kg/ha)
Rot 1/NR	11730 a	42,0 a	6810 a	4690 ab
Rot 1/RP	11910 a	42,0 a	6910 a	4730 ab
Rot 1/MR	10680 a	43,9 a	5980 a	4430 ab
Rot 2/NR	12390 a	42,5 a	7130 a	5230 a
Rot 2/MR	10210 a	41,9 a	5940 a	3840 b
Probabilidad	0,1682	0,3382	0,1315	0,0539
C.V. (%)	9,45	3,0	9,37	9,97

Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,10$)

El rendimiento fue la única variable de las resumidas en el cuadro 6 en la cual se registraron diferencias significativas entre tratamientos, siendo el manejo del rastrojo de maíz el factor que más incidió en dichas diferencias. Este

mismo factor mostró efecto significativo en los contrastes (NR vs MR con $p < 0,10$) para todas las variables a excepción del índice de cosecha.

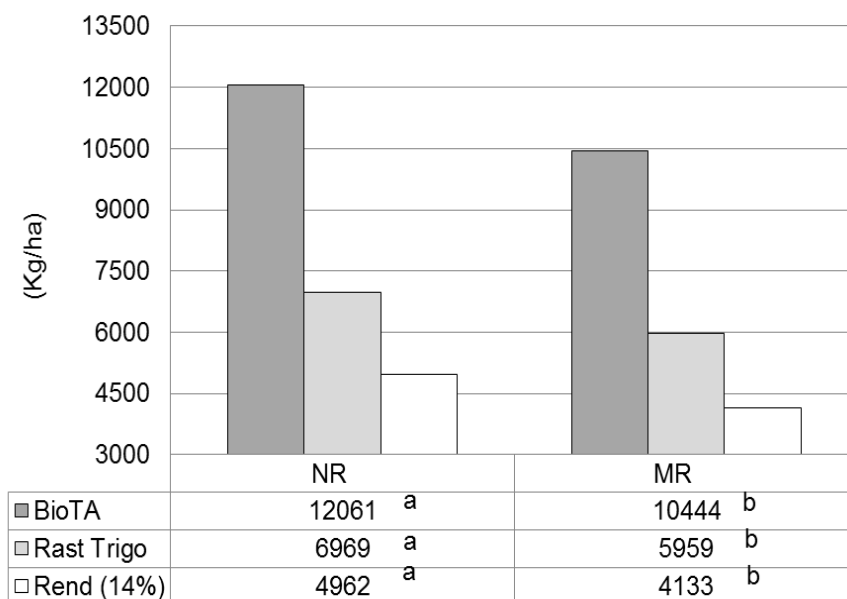


Figura 14. Biomasa total aérea, rendimiento y residuo de trigo producido en los manejos de rastrojo de maíz contrastantes, para ambas rotaciones. Letras minúsculas distintas en la fila muestran diferencias significativas para las tres variables ($p < 0,10$)

El retener el rastrojo tuvo un efecto positivo en la producción de biomasa total, rendimiento en grano y producción de rastrojo, siendo estas variables 1,15, 1,20 y 1,17 veces mayores respectivamente, en comparación con los tratamientos de máximo retiro.

La bibliografía consultada es coincidente en este sentido, siendo los argumentos manejados con más frecuencia el aumento de la macroporosidad y reducción de la densidad aparente, reducción del encostramiento superficial y aumento de la infiltración lo que trae aparejado una mejora en la disponibilidad de agua para el cultivo cuando se mantienen rastrojos en superficie (Blanco-Canqui y Lal 2007, Kong 2013, Laird y Chang 2013). Ninguna de estas variables fue medida en este trabajo pero se les atribuye impacto en el rendimiento. Más aun teniendo en cuenta la relevancia que cobran estas características en años con limitantes hídricas (Kong, 2013), siendo mejorada la eficiencia de uso de la misma con la retención de residuos.

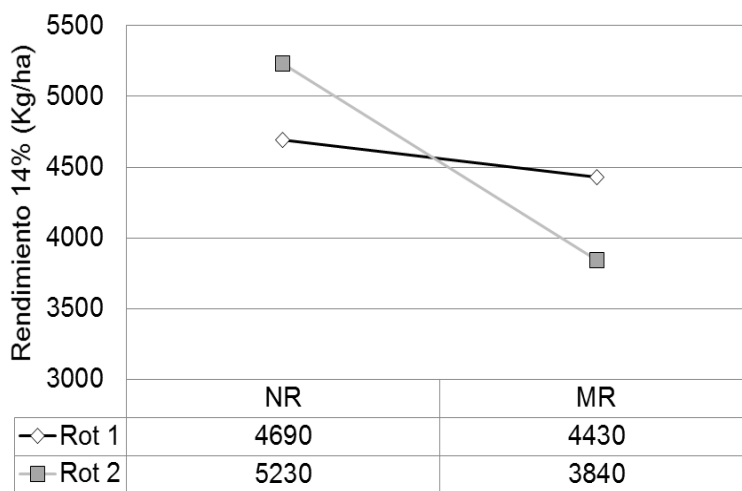


Figura 15. Interacción del rendimiento generada entre manejos de rastrojo contrastantes y la rotación agrícola ($p=0,0645$)

El estudio de contrastes marcó la existencia de una interacción entre los efectos retiro de rastrojo y rotación agrícola empleada. Como se comentó previamente el máximo retiro de rastrojo tuvo un efecto negativo en el rendimiento del cultivo, pero este impactó de manera diferencial en las distintas rotaciones. Las caídas de rendimiento son claras y significativas para el caso de la rotación que incluye sorgo dulce (Rot 2), donde al retirar el residuo de maíz el rendimiento se reduce un 26,6%, mientras que la rotación 1 solo cae un 5,5% sin ser estadísticamente significativa esta caída.

4.6.7. Parámetros de calidad

4.6.7.1. Peso Hectolítrico

Cuadro 7. Peso hectolítrico según los tratamientos

Tratamiento	Peso Hectolítrico
Rot 2/NR	77,55 a
Rot 1/NR	77,10 a
Rot 1/RP	76,8 a
Rot 1 /MR	76,65 a
Rot 2/MR	76,65 a

Letras minúsculas distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p<0,10$)

No se observaron diferencias significativas ($p < 0,10$) para ninguno de los tratamientos ni para los distintos contrastes evaluados. Sin embargo, se puede observar una leve tendencia a disminuir el peso hectolítrico a medida que incrementa la cantidad de residuo removido, atendiendo esto a lo sucedido con el rendimiento. Datos obtenidos por Castro (2006) en un experimento sobre correlaciones entre rendimiento y distintos parámetros de calidad dentro del cual se evaluó el peso hectolítrico, mostraron una cierta correlación positiva entre ambas variables.

5. CONCLUSIONES

La implantación se vio afectada negativamente por la presencia de rastrojo, pero la misma no fue limitante para el rendimiento dado que el macollaje por planta más que compensó la menor población inicial lograda de forma tal que se logró un mayor número de tallos por unidad de superficie. Con una similar fertilidad de tallos, se logró una mayor población de espigas (con igual número y peso de granos) que derivaron en el mayor rendimiento donde se retuvo el rastrojo (4962 vs 4133 kg/ha).

La inclusión del sorgo dulce per se no tuvo efecto significativo en ninguna de las variables analizadas, pero interaccionó con el retiro para PMG y rendimiento, donde se vio que agudizaba los efectos negativos del máximo retiro, pero potenciaba la retención de residuos.

La dinámica del nitrógeno fue afectada por la presencia de residuos en superficie como lo afirma la bibliografía consultada, donde la inmovilización por parte de los residuos se vio reflejada en los niveles de $N-NO_3^-$, principalmente en Z22, como resultado del balance de los procesos de inmovilización-mineralización. En siembra se observó un comportamiento similar, pero con niveles deprimidos dadas las precipitaciones previas al muestreo. En Z30 los niveles de N% en planta tuvieron diferencias significativas al comparar manejos contrastantes de rastrojo, siendo 3,67% y 3.08% para MR y NR respectivamente, pero con una menor biomasa producida a ese estadio en el MR.

Luego de cuatro años de establecido el experimento y realizados los manejos de residuos descritos en cada cultivo de la rotación no se detectaron cambios significativos en los contenidos de COS y N total, pero se pueden observar tendencias a la baja en ambos indicadores a mayores niveles de retiro y a la vez en la rotación con sorgo dulce.

6. RESUMEN

Con el objetivo de reducir la dependencia de los combustibles fósiles como fuente de energía, se busca incrementar a nivel mundial la utilización de etanol producido a partir de fuentes renovables, como lo es la biomasa de residuos de cosecha y/o cultivos específicos. Para estudiar los impactos de dicha práctica, en nuestro país se llevó a cabo un experimento sobre un Argiudol Típico en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía, Departamento de Paysandú, donde se evaluó el efecto de diferentes niveles de retiro de rastrojos y la inclusión del sorgo dulce en una rotación maíz-trigo-sorgo, sobre el Carbono Orgánico del Suelo (COS), el Nitrógeno total del suelo, la dinámica del Nitrógeno, e implantación y rendimiento del cultivo de trigo. El COS y el N total tendieron a ser menores a medida que se aumentó el nivel de retiro y/o se incorporó sorgo dulce en la rotación. Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,10$) en cuatro años de experimento. La dinámica del nitrógeno se vio afectada significativamente por el retiro del residuo de maíz, mostrando los niveles más bajos del nutriente con mayor cantidad de rastrojo (inmovilización), pero no siendo siempre la situación más favorable el máximo retiro por posible deterioro de la capacidad de aporte del suelo. La implantación del trigo fue menor a mayor cantidad de rastrojo de maíz, resultando en 1,3 plantas menos por metro por cada tonelada de rastrojo adicional ($R^2=0,58$). No obstante, esto no afectó directamente en el rendimiento, ya que éste fue significativamente mayor al retener todo el rastrojo que al retirar el mismo (4963 vs 4133 Kg/ha, $p=0,0138$), independientemente de la rotación, siendo la población de espigas el principal componente afectado.

Palabras clave: Trigo; Rastrojo de maíz; Sorgo dulce; Retención de residuos; COS; N total; Dinámica del Nitrógeno.

7. SUMMARY

In order to decrease the dependence on fossil fuels for energy, alternate sources have been sought at a global scale. One of these is the use of ethanol, which is produced from renewable resources, such as biomass from crop residues and/or specific crops. To study the effects of this practice in Uruguay, an experiment was conducted on Typic Argiudoll. The study was carried out in the Experimental Station Mario A. Cassinoni from the Faculty of Agriculture, in Department of Paysandú. In this experiment, the effect of different levels of crop residue removal were evaluated together with the inclusion of sweet sorghum in a corn-wheat-grain sorghum rotation, focusing on Soil Organic Carbon (SOC), total soil nitrogen, nitrogen dynamics, and wheat stand establishment and yield. The SOC and total N tended to be lower as the level of residue removal was increased and/or if sweet sorghum was included in the rotation, but no significant differences were recorded between treatments ($p < 0.10$) in four years of experiment. On the other hand, Nitrogen dynamics were significantly affected by corn residue removal, showing the lowest levels of the nutrient with more stubble (immobilization). However, maximum withdrawal was not always the most favorable situation, as it decreases the contribution of N by the soil. Wheat stand establishment was reduced by corn stover (1.3 less plants per meter per ton of additional stubble, $R^2=0.58$), but it did not directly affect wheat performance. Yield was significantly increased by retaining all the stubble, rather than removing it (4963 vs 4133 kg/ha, $p=0.0138$). Irrespective of the rotation, spike population was the most affected component.

Key words: Wheat; Corn stover; Sweet sorghum; Residue retention; SOC; total N; Nitrogen dynamics.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, C.; Scianca, C.; Barraco, M.; Díaz Zorita, M.; Brambilla, C. 2006. Aportes de diferentes volúmenes de rastrojo en rotaciones agrícolas; impacto sobre las propiedades edáficas. Memoria técnica 2005 – 2006. General Villegas, INTA. pp. 18-20.
2. Álvarez, R. 2006. Balance de carbono de los suelos. Información técnica de trigo campaña 2006. INTA. EEAR. Publicación miscelánea no. 105. 43 p.
3. Aquino, L. A. 2012. Manejo da fertilidade do solo e nutrição mineral do sorgo sacarino. In: Seminário Temático Agroindustrial de Produção de Sorgo Sacarino para Bioetanol (2012, Ribeirão Preto, São Paulo). Anais. Sete Lagoas, Minas Gerais. EMBRAPA. pp. 35-42 (Documentos no. 145)
4. Bastian, F.; Bouziri, L.; Nicolardot, B.; Ranjard, L. 2009. Impact of wheat straw decomposition on successional patterns of soil microbial community structure. *Soil Biology and Biochemistry*. 41: 262-275.
5. Blanco-Canqui, H.; Lal, R. 2007. Soil and crop response to harvesting corn residues for biofuel production. (en línea). *Geoderma*. 141: 355-362. Consultado 28 mar. 2014 Disponible en <http://www.sciencedirect.com>
6. _____. 2012. Crop residue removal for bioenergy reduces soil carbon pools; how can we offset carbon losses? *Bioenergy Research*. 6: 358-371.
7. _____.; Shapiro, C.; Wortmann, C.; Drijber, R.; Mamo, M.; Shaver, T.; Ferguson, R. 2013. Soil organic carbon; the value to soil properties. *Journal of Soil and Water Conservation*. 68 (5): 129A-134A.
8. Castaño, J.; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Aunchayna, R. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Montevideo, INIA. 40 p. (Serie Técnica no. 193).

9. Castro, M.; Ceretta, S.; Vázquez, D. 2006. Análisis de la relación rendimiento de grano-calidad en trigo y factores abióticos que la afectan. In: Jornada de Cultivos de Invierno (2006, La Estanzuela, UY). Trigo; calidad vs. rendimiento. Montevideo, INIA. pp. 30-35 (Actividades de Difusión no. 444).
10. Ernst, O. 2003. Uruguayizando argentinences. Cangüé. no. 24: 27-30.
11. _____; Siri-Prieto, G. 2008. Sistemas de laboreo y rotación de cultivos en Uruguay: resumen de resultados. Cangüé. no. 30: 2-8.
12. _____. 2009. Hacia una agricultura inteligente y sostenible. Zona Agropecuaria. no. 19: 27-29.
13. Ferrari, M. 2010. ¿Nuestros actuales sistemas de producción agrícola son ambientalmente sustentables?. Hacia una agricultura ambientalmente sustentable. Buenos Aires, INTA Pergamino. 9 p.
14. Goaverts, B.; Sayre, K.D.; Ceballos-Ramirez, J.M.; Luna-Guido, M.L.; Limon-Ortega, A.; Deckers, J.; Dendooven, L. 2006. Conventionally tilled and permanent raised beds with different crop residue management; effects on soil C and N dynamics. *Plant and Soil*. 280:143-155.
15. Han, L.P.; Steinberger, Y.; Zhao, Y.L.; Xie, G.H. 2011. Accumulation and partitioning of nitrogen, phosphorus and potassium in different varieties of sweet sorghum. *Field Crop Research*. 120: 230-240.
16. Hermle, S.; Anken, T.; Leifeld, J.; Weisskopf, P. 2008. The effect of tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. *Soil and Tillage Research*. 98: 94-105.
17. Hoffman, E.; Perdomo, C.; Ernst, O.; Bordoli, M.; Pastorini, M.; Pons, C.; Borghi, E. 2010. Propuesta para el manejo del nitrógeno en cultivos de invierno en Uruguay. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. no. 46: 13-17.

18. _____.; Fassana, N. 2013. Caracterización de cultivares de trigo 2012 Segundo ciclo de Baguette 701, Baguette 601, Biointa 3005, DM 0456 (Lyón), DM 1009, GE 2359, GE 2358, GE 2346, GE 2366 y GE 2375. Primer ciclo de Biointa 3006, Biointa 2006, Baguette 501, LE 2377, LE 2381, Klein Yarará, Klein Guerrero, Klein Nutria y Klein León. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. 38 p.
19. Laird, D.; Chang, C.W. 2013. Long-term impacts of residue harvesting on soil quality. *Soil and Tillage Research*. 134: 33-40
20. Kausadikar, P.; Sheikh, S.; More, S. 2012. Long term impact of integrated nutrient management of active pool soil organic carbon and nutrients in sorghum under sorghum-wheat cropping system in Vertisol. *Journal of Soil and Crop*. 22 (2): 352-357.
21. Kludze, H.; Deen, B.; Weersink, A.; Van Acker, R.; Janovicek, K.; De Laporte, A.; McDonald, L. 2013. Estimating sustainable crop residue removal rates and costs based on soil organic matter dynamics and rotational complexity. *Biomass and Bioenergy*. 56: 607-618.
22. Kong, L. 2013. Maize residues, soil quality, and wheat growth in China; a review. Jinan, China, Crop Research Institute. Shandong Academy of Agricultural Sciences. 12 p.
23. Miralles, M. 2004. Fisiología de la generación de rendimiento. *Revista Campo del NOA*. 2 (6): 7-9.
24. MAP. DSF (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes,UY). 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Montevideo. Escala 1:1.000.000.
25. Móron, A. 2001. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. INIA. La Estanzuela. Documentos online no. 030. pp. 387-405.

26. Qin, S.; Hua, C.; He, X.; Dong, W.; Cui, J.; Wang, Y. 2010. Soil organic carbon, nutrients and relevant enzyme activities in particle-size fractions under conservational versus traditional agricultural management. *Applied Soil Ecology*. 45:152-159.
27. Rahimizadeh, M.; Zare-Feizabadi, A.; Koocheki, A. 2013. Winter wheat growth response to preceding crop, nitrogen fertilizer rate and crop residue. *International Journal of AgriScience*. 3(9): 708-717.
28. Sawchik, J. 2001. Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo-pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. INIA. La Estanzuela. Documentos online no. 033. pp. 323-345.
29. Silva, A. 2010. La material orgánica del suelo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 45 p.
30. Silva, P. 2003. Efecto alelopático de los rastrojos. *In*: Acevedo, E. ed. Sustentabilidad en cultivos anuales; cero labranza, manejo de rastrojos. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. pp. 83-97 (Serie Ciencias Agronómicas no. 8).
31. Siri Prieto, G. 2013. Bioenergía en el Uruguay, ¿cómo hacerla productiva y sustentable? *In*: Simposio Nacional de Agricultura (3º, 2013, Paysandú, Uruguay). No se llega, si no se sabe a dónde ir. Pensar en las causas y no sólo medir las consecuencias. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. pp. 21-38.
32. Velázquez, G.; Salinas, G.; Potter, K.; Gallardo, V.; Caballero, H.; Díaz, P. 2002. Cantidad, cobertura y descomposición de residuos de Maíz sobre el suelo. *TERRA Latinoamericana*. 20(2): 171-182.
33. Verhulst, N.; Kienle, F.; Sayre, KD.; Deckers, J.; Raes, D.; Limon-Ortega, A.; Tijerina-Chavez, L.; Govaerts, B. 2011. Soil quality as affected by tillage-residue management in a wheat-maize irrigated bed planting system. *Plant and Soil*. 340: 453-466.

34. Villar, J. 2001. Dinámica del consumo de agua de trigo en siembra directa. (en línea). In: INTA. Publicación técnica de trigo; campaña 2001. Rafaela. s.p. Consultado ene. 2014. Disponible en http://rafaela.inta.gov.ar/publicaciones/trigo2001/misc94_2.htm
35. Zegada-Lizarazu, W.; Monti, A. 2012. Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices. *Biomass and Bioenergy*. 40: 1-12.

9. ANEXOS

Las siguientes tablas son los resultados ofrecidos por el software “InfoStat”, para no ser reiterativo con respecto a los coeficientes utilizados para los contrastes en la próxima tabla se muestran los coeficientes utilizados para el análisis de todas las variables evaluadas.

Coeficientes de los contrastes

Tratamiento	Rot	Ret	Inter	Lin	Cuad
MR/Rot1	1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00
MR/Rot2	-1.00	1.00	-1.00	0.00	0.00
NR/Rot1	1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00
NR/Rot2	-1.00	-1.00	1.00	0.00	0.00
RP/Rot1	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00

Rot = Rotación; Ret = Retiro; Inter= Interacción; Lin = Tendencia lineal; Cuad = Tendencia Cuadrática.

Tablas de ANAVA, Contraste y Medias por tratamiento. Considerar para la tabla de ANAVA que: F.V. = Fuente de Variación; gl = Grados de Libertad; F = Valor de F. Por otro lado considerar que para la tabla de medias aquellas con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.10$), DMS = diferencia mínima significativa.

1. COS (%) 0 – 5 cm.

COS (%) 0 - 5 cm	Coeficiente Variación		24.34
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	0.75	0.6263
Bloque	2	0.64	0.5527
Tratamiento	4	0.81	0.5543
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor	Tratamiento	Medias
Rotación	0.3647	NR/Rot1	3 A
Retiro	0.3733	RP/Rot1	2.95 A
Interacción	0.5434	MR/Rot1	2.42 A
Tend. Lineal	0.297	NR/Rot2	2.41 A
Tend. Cuadrática	0.6134	MR/Rot2	2.3 A
		DMS	1.53259

2. COS (%) 5 – 20 cm.

COS (%) 5 - 20 cm	Coeficiente Variación		40.4
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	0.95	0.5118
Bloque	2	0.45	0.654
Tratamiento	4	1.2	0.3819
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor
Rotación	0.9533
Retiro	0.1673
Interacción	0.1651
Tend. Lineal	0.0634
Tend. Cuadrática	0.7144

Tratamiento	Medias	
MR/Rot1	2.04	A
RP/Rot1	1.66	A
NR/Rot2	1.52	A
MR/Rot2	1.52	A
NR/Rot1	0.95	A
DMS	1.49599	

3. Ntotal (%) 0 – 5 cm.

Ntotal (%) 0 - 5 cm	Coeficiente Variación		13.43
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	0.98	0.4971
Bloque	2	1.15	0.3646
Tratamiento	4	0.89	0.5113
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor
Rotación	0.847
Retiro	0.2478
Interacción	0.2204
Tend. Lineal	0.106
Tend. Cuadrática	0.7489

Tratamiento	Medias	
NR/Rot1	0.23	A
MR/Rot2	0.21	A
NR/Rot2	0.21	A
RP/Rot1	0.2	A
MR/Rot1	0.19	A
DMS	0.06727	

4. Ntotal (%) 5 – 20 cm.

Ntotal (%) 5 - 20 cm	Coeficiente Variación		11.54
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	1.93	0.1913
Bloque	2	3.56	0.0782
Tratamiento	4	1.11	0.4141
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor
Rotación	0.5769
Retiro	0.29
Interacción	0.4313
Tend. Lineal	0.835
Tend. Cuadrática	0.3039

Tratamiento	Medias	
RP/Rot1	0.18	A
NR/Rot2	0.17	A
NR/Rot1	0.17	A
MR/Rot1	0.16	A
MR/Rot2	0.15	A
DMS	0.04611	

5. Rastrojo Maiz (Kg/ha).

Rastrojo Maiz (Kg/ha)	Coeficiente Variación		25.05
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	10.11	0.0023
Bloque	2	1.7	0.2426
Tratamiento	4	14.31	0.001
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor
Rotación	0.8677
Retiro	0.0001
Interacción	0.6624
Tend. Lineal	0.0012
Tend. Cuadrática	0.1944

Tratamiento	Medias	
NR/Rot2	6584.67	A
NR/Rot1	6417.67	A
RP/Rot1	3322.67	B
MR/Rot1	2288.33	B
MR/Rot2	1917	B
DMS	2475.84222	

6. Cobertura (%).

Cobertura (%)	Coeficiente Variación		6.82
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	125.26	<0.0001
Bloque	2	1.06	0.3914
Tratamiento	4	187.36	<0.0001
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor
Rotación	0.9108
Retiro	<0.0001
Interacción	0.2664
Tend. Lineal	<0.0001
Tend. Cuadrática	0.0001

Tratamiento	Medias	
NR/Rot2	88.17	A
NR/Rot1	85.83	A
RP/Rot1	39.75	B
MR/Rot1	31.75	BC
MR/Rot2	28.92	C
DMS	9.01378	

7. N-NO3 en suelo en siembra (ppm).

N-NO3 en suelo siembra	Coeficiente Variación		15.38
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	4.22	0.0326
Bloque	2	6.15	0.0241
Tratamiento	4	3.25	0.073
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor
Rotación	0.1724
Retiro	0.2708
Interacción	0.1363
Tend. Lineal	0.0796
Tend. Cuadrática	0.0181

Tratamiento	Medias	
RP/Rot1	2.87	A
NR/Rot2	2.47	AB
MR/Rot1	2.4	AB
MR/Rot2	2.37	AB
NR/Rot1	1.8	B
DMS	0.881	

8. N-NO3 en suelo Z22 (ppm).

N-NO3 en suelo Z22	Coeficiente Variación		16.22
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	7.9	0.0051
Bloque	2	2.31	0.1617
Tratamiento	4	10.69	0.0027
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor
Rotación	0.1278
Retiro	0.0011
Interacción	0.5449
Tend. Lineal	0.0153
Tend. Cuadrática	0.003

Tratamiento	Medias	
RP/Rot1	11.9	A
MR/Rot2	11.37	A
MR/Rot1	9.4	AB
NR/Rot2	6.63	BC
NR/Rot1	5.73	C
DMS	3.51687	

9. N (%) en planta Z30.

N (%) en planta Z30	Coeficiente Variación		7.73
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	2.73	0.0951
Bloque	2	0.03	0.9693
Tratamiento	4	4.08	0.0432
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor
Rotación	0.6969
Retiro	0.0045
Interacción	0.5829
Tend. Lineal	0.0132
Tend. Cuadrática	0.6321

Tratamiento	Medias	
MR/Rot1	3.74	A
MR/Rot2	3.6	AB
RP/Rot1	3.5	AB
NR/Rot2	3.09	B
NR/Rot1	3.06	B
DMS	0.63242	

10. Biomasa Z30 (Kg/ha)

Biomasa Z30 (Kg/ha)	Coeficiente Variación		19.25
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	2.22	0.1464
Bloque	2	2.32	0.1603
Tratamiento	4	2.17	0.1626
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor
Rotación	0.6307
Retiro	0.0317
Interacción	0.2924
Tend. Lineal	0.3283
Tend. Cuadrática	0.7096

Tratamiento	Medias	
NR/Rot2	1722.67	A
NR/Rot1	1473.67	A
RP/Rot1	1288.67	A
MR/Rot1	1248.33	A
MR/Rot2	1152.33	A
DMS	638.00254	

11. N absorbido Z30 (Kg/ha).

N absorbido Z30 (Kg/ha)	Coeficiente Variación		20.46
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	1.21	0.389
Bloque	2	2.32	0.1604
Tratamiento	4	0.66	0.6372
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor
Rotación	0.8043
Retiro	0.3605
Interacción	0.2486
Tend. Lineal	0.8509
Tend. Cuadrática	0.8792

Tratamiento	Medias	
NR/Rot2	53.37	A
MR/Rot1	46.67	A
NR/Rot1	45.17	A
RP/Rot1	44.87	A
MR/Rot2	41.27	A
DMS	22.778	

12. Plantas/mlineal.

Plantas/mlineal	Coeficiente Variación		10.23
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	3.64	0.0481
Bloque	2	0.5	0.6237
Tratamiento	4	5.2	0.0231
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor	Tratamiento	Medias	
Rotación	0.5622	MR/Rot1	36.13	A
Retiro	0.0023	MR/Rot2	35.28	A
Interacción	0.3195	RP/Rot1	30.97	AB
Tend. Lineal	0.0049	NR/Rot2	29.1	AB
Tend. Cuadrática	0.9661	NR/Rot1	26	B
		DMS	7.75733	

13. Macollos/planta.

Macollos/planta	Coeficiente Variación		13.35
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	3.8	0.043
Bloque	2	0.08	0.9279
Tratamiento	4	5.66	0.0184
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor	Tratamiento	Medias	
Rotación	0.4894	NR/Rot1	6.33	A
Retiro	0.0018	NR/Rot2	5.6	AB
Interacción	0.2831	RP/Rot1	5.07	AB
Tend. Lineal	0.0037	MR/Rot2	4.27	B
Tend. Cuadrática	0.7622	MR/Rot1	4.1	B
		DMS	1.63024	

14. Macollos/m².

Macollos/m ²	Coeficiente Variación		8.79
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	1.18	0.4033
Bloque	2	1.74	0.2364
Tratamiento	4	0.9	0.5075
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor	Tratamiento	Medias	
Rotación	0.9343	NR/Rot1	857.87	A
Retiro	0.0954	NR/Rot2	856.6	A
Interacción	0.9108	RP/Rot1	820.17	A
Tend. Lineal	0.1938	MR/Rot2	782.9	A
Tend. Cuadrática	0.94	MR/Rot1	774.57	A
		DMS	173.11	

15. Fertilidad (%).

Fertilidad (%)	Coeficiente Variación		11.15
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	0.76	0.6185
Bloque	2	1.9	0.2117
Tratamiento	4	0.2	0.9334
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor	Tratamiento	Medias	
Rotación	0.6465	RP/Rot1	54.4	A
Retiro	0.9279	MR/Rot1	53.8	A
Interacción	0.6332	NR/Rot2	52.5	A
Tend. Lineal	0.783	NR/Rot1	52.43	A
Tend. Cuadrática	0.7653	MR/Rot2	50.5	A
		DMS	14.14382	

16. Espigas/m².

Espigas/m ²	Coeficiente Variación		6.48
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	2.22	0.1468
Bloque	2	2.42	0.1506
Tratamiento	4	2.12	0.1701
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor	Tratamiento	Medias
Rotación	0.5733	NR/Rot2	449.33 A
Retiro	0.0298	NR/Rot1	445.8 A
Interacción	0.4427	RP/Rot1	439.27 A
Tend. Lineal	0.2315	MR/Rot1	416.43 A
Tend. Cuadrática	0.6891	MR/Rot2	394.07 A
		DMS	66.85297

17. Grano/Espiga.

Grano/Espiga	Coeficiente Variación		6.56
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	0.55	0.7603
Bloque	2	0.99	0.4126
Tratamiento	4	0.33	0.8527
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor	Tratamiento	Medias
Rotación	0.8916	NR/Rot2	35.3 A
Retiro	0.3535	RP/Rot1	34.83 A
Interacción	0.6841	NR/Rot1	34.57 A
Tend. Lineal	0.7011	MR/Rot1	33.83 A
Tend. Cuadrática	0.7019	MR/Rot2	33.47 A
		DMS	5.43182

18. Granos/m².

Granos/m ²	Coeficiente Variación		10.52
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	1.07	0.4517
Bloque	2	0.16	0.8529
Tratamiento	4	1.52	0.2837
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor	Tratamiento	Medias	
Rotación	0.802	NR/Rot2	15885.67	A
Retiro	0.0543	NR/Rot1	15426.33	A
Interacción	0.4626	RP/Rot1	15241	A
Tend. Lineal	0.3255	MR/Rot1	14098	A
Tend. Cuadrática	0.6744	MR/Rot2	13173.67	A
		DMS	3738.36742	

19. Peso de Mil Granos (g).

PMG (g)	Coeficiente Variación		2.55
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	2.51	0.1145
Bloque	2	5.05	0.0381
Tratamiento	4	1.23	0.3699
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor	Tratamiento	Medias	
Rotación	0.8406	MR/Rot1	33.3	A
Retiro	0.6409	NR/Rot2	33.17	A
Interacción	0.0641	RP/Rot1	32.83	A
Tend. Lineal	0.0999	MR/Rot2	32.37	A
Tend. Cuadrática	0.7846	NR/Rot1	32.03	A
		DMS	2.00687	

20. Rendimiento 14% (Kg/ha).

Rendimiento 14% (Kg/ha)	Coeficiente Variación		9.97
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	2.62	0.1039
Bloque	2	0.43	0.6636
Tratamiento	4	3.72	0.0539
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor
Rotación	0.9181
Retiro	0.0138
Interacción	0.0645
Tend. Lineal	0.4999
Tend. Cuadrática	0.6087

Tratamiento	Medias	
NR/Rot2	5230.33	A
RP/Rot1	4733.33	AB
NR/Rot1	4693	AB
MR/Rot1	4429.33	AB
MR/Rot2	3836	B
DMS	1100.00424	

21. Biomasa total (Kg/ha).

Biomasa total (Kg/ha)	Coeficiente Variación		9.45
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	1.48	0.2956
Bloque	2	0.18	0.8358
Tratamiento	4	2.13	0.1682
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor
Rotación	0.882
Retiro	0.0314
Interacción	0.3916
Tend. Lineal	0.2642
Tend. Cuadrática	0.3796

Tratamiento	Medias	
NR/Rot2	12390	A
RP/Rot1	11912.33	A
NR/Rot1	11732.33	A
MR/Rot1	10677.67	A
MR/Rot2	10210.33	A
DMS	2588.94997	

22. Rastrojo Trigo (Kg/ha).

Rastrojo Trigo (Kg/ha)	Coeficiente Variación		9.37
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	1.77	0.2224
Bloque	2	0.43	0.6643
Tratamiento	4	2.44	0.1315
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor	Tratamiento	Medias	
Rotación	0.7049	NR/Rot2	7128	A
Retiro	0.0215	RP/Rot1	6906.33	A
Interacción	0.6276	NR/Rot1	6810	A
Tend. Lineal	0.136	MR/Rot1	5979	A
Tend. Cuadrática	0.2724	MR/Rot2	5939.33	A
		DMS	1477.85414	

23. Índice de Cosecha.

IC	Coeficiente Variación		3
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	1.19	0.4005
Bloque	2	0.9	0.4455
Tratamiento	4	1.33	0.3382
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor	Tratamiento	Medias	
Rotación	0.3374	MR/Rot1	43.93	A
Retiro	0.3581	NR/Rot2	42.47	A
Interacción	0.1275	RP/Rot1	42.03	A
Tend. Lineal	0.0952	NR/Rot1	41.97	A
Tend. Cuadrática	0.3384	MR/Rot2	41.93	A
		DMS	3.06418	

24. Peso Hectolítrico.

PH	Coeficiente Variación		1.13
F.V.	gl	F	p-valor
Modelo	6	0.67	0.6765
Bloque	2	0.87	0.4561
Tratamiento	4	0.58	0.6888
Error	8		
Total	14		

Contrastes	p-valor
Rotación	0.6673
Retiro	0.2175
Interacción	0.6673
Tend. Lineal	0.5456
Tend. Cuadrática	0.9063

Tratamiento	Medias	
NR/Rot2	77.55	A
NR/Rot1	77.1	A
RP/Rot1	76.8	A
MR/Rot1	76.65	A
MR/Rot2	76.65	A
DMS	2.10191	