

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE DIFERENTES CANTIDADES DE RETIRO DE RASTROJO DE
MAÍZ EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE TRIGO EN DOS
ROTACIONES DE AGRICULTURA CONTINUA**

por

César Nicolás FASSANA PEREIRA

**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. Sebastián Mazilli

Fecha:

7 de abril de 2014

Autor:

.....

César Nicolás Fassana Pereira

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento al grupo de maquinaria de la EEMAC, principalmente a Reinaldo Quintana y a Julio Mosqueira por todos los consejos y la buena voluntad a la hora de realizar los trabajos de campo. Sin ellos no hubiera sido posible esto.

Al Ing. Agr. Guillermo Siri Prieto por la oportunidad que me dio en un momento crítico.

Al Ing. Agr. Esteban Hoffman que indirectamente, y aunque no sea consiente, me permitió continuar con la carrera en las últimas etapas. Además de enseñarme como realizar un trabajo llamativo que estimule al lector, entre otras cosas, me mostro una agronomía diferente o quizás a verla desde otra perspectiva y aún lo sigue haciendo.

Sin duda alguna, que le agradezco a mi familia. Ellos fueron los responsables de pudiera llegar hasta acá.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 <u>Generales</u>	2
1.1.2 <u>Específicos</u>	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 ¿SIEMBRA DIRECTA = RASTROJO EN SUPERFICIE?	3
2.2 EFECTO SOBRE LA IMPLANTACIÓN DE TRIGO	5
2.3 EFECTO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA EL CULTIVO DE TRIGO.....	7
2.4 EFECTO SOBRE LA DINÁMICA DEL NITROGENO	8
2.5 EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE TRIGO.....	11
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	13
3.1 LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO	13
3.2 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	13
3.2.1 <u>Aspectos tecnológicos y logísticos de la instalación del ensayo</u>	13
3.2.2 <u>Secuencias de cultivos en las rotaciones agrícolas</u>	14
3.2.3 <u>Definición de tratamientos</u>	15
3.2.4 <u>Muestreo de materia seca de maíz (rastrajo)</u>	16
3.2.5 <u>Porcentaje de cobertura</u>	16
3.2.6 <u>Población</u>	17
3.2.7 <u>Macollaje</u>	17
3.2.8 <u>Espigazón</u>	17
3.2.9 <u>Cosecha</u>	18
3.2.10 <u>Muestreo de nitratos en suelo y nitrógeno total en planta</u> . 18	
3.2.11 <u>Actividades post – cosecha</u>	19
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	19
3.3.1 <u>Modelo estadístico</u>	20

3.3.2 <u>Hipótesis</u>	21
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	22
4.1 EL CULTIVO DE MAÍZ (VERANO 2010/11).....	22
4.1.1 <u>Rendimiento de maíz</u>	22
4.2 ANTECEDENTES CLIMÁTICOS DEL PAÍS	23
4.3 DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL AÑO .	24
4.4 RASTROJO EN SUPERFICIE	27
4.4.1 <u>Cobertura del suelo – el rastrojo de maíz</u>	27
4.5 EVOLUCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE NITRATOS EN EL SUELO	30
4.6 VARIABLES DETERMINANTES DEL NÚMERO DE ESPIGAS POR UNIDAD DE SUPERFICIE Y COMPONENTES DIRECTOS DEL RENDIMIENTO DE TRIGO.....	32
4.6.1 <u>Efecto retiro de rastrojo sobre la implantación</u>	34
4.6.2 <u>Efecto retiro de rastrojo sobre el macollaje</u>	39
4.6.3 <u>Efecto retiro de rastrojo sobre la fertilidad de los tallos</u>	43
4.6.4 <u>Efecto retiro de rastrojo sobre la espigazón</u>	44
4.6.5 <u>Efecto retiro de rastrojo sobre el tamaño de espiga y el peso de los granos</u>	45
4.7 RELACIÓN ENTRE BIOMASA TOTAL A COSECHA Y RENDIMIENTO EN GRANO	46
4.8 RENDIMIENTOS OBTENIDOS EN LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS	49
4.9 VARIACIÓN EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS (PESO HECTOLÍTRICO)	50
5. <u>CONCLUSIONES</u>	52
6. <u>RESUMEN</u>	53
7. <u>SUMMARY</u>	55
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	57
9. <u>ANEXOS</u>	63

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Niveles de nutrientes en los tres estadios claves para realizar fertilizaciones en cereales de invierno, dosis de cada nutriente aplicado y fertilizante utilizado en cada momento.....	14
2. Cantidad de biomasa aérea promedio del rastrojo dejado en superficie y su porcentaje de cobertura para los diferentes tratamientos y secuencias agrícolas.	28
3. Probabilidades y coeficientes de variación para el contenido de nitratos en los primeros 20 centímetros del suelo para los tres momentos de muestreo y particionado por RA.	31
4. Variables determinantes del número de espigas por unidad de superficie para la rotación agrícola No. 1.	32
5. Componentes directos del rendimiento de trigo para la rotación agrícola No. 1.	33
6. Variables determinantes del número de espigas por unidad de superficie para la rotación agrícola No. 2.	33
7. Componentes directos del rendimiento de trigo para la rotación agrícola No. 2.	34
8. Rendimiento, biomasa total e índice de cosecha para cada tratamiento de retiro de rastrojo en la rotación agrícola 1.	47
9. Rendimiento, biomasa total e índice de cosecha para cada tratamiento de retiro de rastrojo en la rotación agrícola 2.	48
Figura No.	
1. Esquema de rotación agrícola No. 1	15
2. Esquema de rotación agrícola No. 2.....	15

3. Esquema representativo del arreglo de los dos factores de variabilidad presentes en el ensayo.	20
4. Rendimiento medio corregido por humedad en grano según rotación agrícola en función del porcentaje de retiro de rastrojo.	23
5. Precipitación mensual para el año 2010 y promedio histórico de los últimos 30 años para Paysandú. Fuente: Datos de casilla meteorológica de la "Estación Experimental Mario A. Cassinoni". El promedio histórico de los últimos 30 años es el régimen utilizado por INIA GRAS para la realización de los balances e índices de bienestar hídrico.	25
6. Temperatura promedio, mínima y máxima para el año 2010 y promedio histórico de los últimos 30 años para Paysandú. Fuente: Datos de la casilla meteorológica ubicada en la "Estación Experimental Mario A. Cassinoni" y régimen térmico promedio utilizado por INIA GRAS.....	26
7. Relación entre biomasa de rastrojo sobre la superficie y el porcentaje de cobertura que representa.	29
8. Evolución promedio de nitrógeno como nitrato en los primeros 20 cm de suelo para los diferentes momentos de muestreos, según cantidad de rastrojo retirado e independiente para cada rotación agrícola.	30
9. Número de plantas por metro cuadrado en función de la cantidad de rastrojo expresada como porcentaje del total, según rotación agrícola. Las barras indican los desvíos respecto a la media de cada tratamiento. LSD Fisher- medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,10$).	35
10. Implantación del cultivo de trigo en función de los tratamientos extremos de retiro de rastrojo de maíz, independientemente de la rotación agrícola. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes al ($p \leq 0,10$), test LSD de Fisher.	37
11. Interacción entre rotación agrícola y retiro de rastrojo para la	

variable implantación lograda en el cultivo de Trigo medida como No. de plantas*m-2.	38
12. Relación entre el número de plantas por metro cuadrado y la materia seca del rastrojo sobre la superficie del suelo expresada como Kg*ha ⁻¹	39
13. Número de macollos por metro cuadrado en función de las diferentes cantidades de retiro de rastrojo expresadas en porcentaje, para ambas rotaciones agrícolas. Las barras indican los desvíos respecto a cada media. Para una misma RA, medias con igual letra no difieren estadísticamente al 90% según test LSD Fisher.	40
14. Número de macollos por planta en función de las diferentes cantidades de retiro de rastrojo expresadas en porcentaje, para ambas rotaciones agrícolas. Las barras indican los desvíos respecto a cada media.	42
15. Fertilidad de tallos en función de las diferentes cantidades de retiro de rastrojo expresadas en porcentaje, para ambas rotaciones agrícolas. Las barras indican los desvíos de cada media.	43
16. Número de espigas por metro cuadrado en función de las diferentes cantidades de retiro de rastrojo expresadas en porcentaje, para ambas rotaciones agrícolas. Las barras indican los desvíos de cada media.	44
17. Tamaño de espiga en función de las diferentes cantidades de retiro de rastrojo según rotación agrícola. Las barras indican los desvíos respectivos de cada media de tratamiento.	45
18. Peso de grano expresado en mg en función del retiro de rastrojo, según rotación agrícola. Las barras indican los desvíos respecto a las medias de los tratamientos.	46
19. Relación entre el rendimiento promedio corregido por humedad del grano y la biomasa total a cosecha, independiente del tratamiento. ..	47

20. Rendimiento promedio corregido a 14% de humedad según rotación agrícola y para cada tratamiento de retiro de rastrojo. Las barras indican los desvíos de los tratamientos.....	50
21. Peso hectolitrito en función del porcentaje de retiro de rastrojo según rotación agrícola. Las barras indican los desvíos respecto a la media. Letras distintas indican diferencia en test de Tukey al 1%.	51

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de trigo es el de mayor importancia en cuanto al área sembrada en lo que respecta a cultivos de invierno, alcanzando un área de 404 mil ha en 2010 mientras que la cebada fue sembrada en 61,9 mil ha en el mismo año (MGAP. DIEA, 2011).

En la agricultura moderna es utilizada en la gran mayoría de los establecimientos el paquete tecnológico de siembra directa, la cual implica entre otras cosas, la permanencia del residuo de cosecha sobre la superficie del suelo. En dicha interface (suelo-rastrojo) se producen fenómenos que son determinantes para el crecimiento de los cultivos, como lo son el balance del agua y carbono del suelo, el balance de radiación y el balance de energía asociado. Por ende, los rastrojos actúan como una barrera física alterando los intercambios de masa y energía.

Bien es sabido que el cultivo antecesor juega un papel relevante sobre los rendimientos esperados y obtenidos del cultivo posterior. Son varios y complejos los factores del cultivo antecesor, que influyen en generar y concretar el rendimiento del cultivo posterior. A partir de estas bases teóricas, es necesario plantearse un “correcto” manejo del cultivo antecesor como también un manejo adecuado de los residuos de cosecha del mismo, con lo que se logrará una mayor y más eficiente producción por hectárea en el cultivo sucesor.

Cuando se siembra trigo en siembra directa luego de un cultivo de maíz y/o sorgo, las condiciones de siembra son dificultosas para lograr una buena implantación. La situación a superar se caracteriza por presentar abundante rastrojo, suelo húmedo y flojo lo cual favorece la resistencia al corte del rastrojo con lo cual se compromete la colocación de la semilla a la profundidad deseada y el correcto cierre del surco, falta de reacción del suelo, enterrado del rastrojo en la línea de siembra y susceptibilidad al atoramiento de las sembradoras (Bragachini et al., 2004), y las plantas tienden a sufrir más el efecto de las heladas en las primeras etapas del cultivo.

La altísima demanda de combustibles en el mundo llevó a buscar nuevos materiales de producción como lo son los biológicos. La limitación en los sistemas de producción de biocombustibles es, en alguno de esos sistemas, que la producción implica la utilización de productos que son bienes de

consumo básico humano y animal, lo que provoca efectos inflacionarios en esos productos. Por esta razón es que la utilización de materiales lignocelulósicos como los son los residuos de cosecha de diferentes cultivos agrícolas (maíz por ejemplo), es una alternativa de producción masiva de biocombustibles. Sin embargo, para que esta práctica se logre desarrollar sin graves perjuicios socio-ambientales, es necesario generar información actual y adaptada a las condiciones de producción presentes y tal vez pensando en un futuro cercano.

Con el presente trabajo se pretendió cuantificar los efectos de tres diferentes cantidades de retiro de rastrojo de maíz, sobre el número de plantas logradas en el cultivo de trigo y los componentes que definen el rendimiento así como el rendimiento mismo.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Generales

Cuantificar el efecto del retiro de rastrojo de maíz en dos rotaciones agrícolas sobre la implantación y rendimiento de trigo, bajo la sistemática de siembra directa.

1.1.2. Específicos

1. Determinar el efecto del retiro de residuos de cosecha del cultivo de maíz sobre la implantación y rendimiento del cultivo de trigo

2. Estudiar el efecto de la interacción entre rotación agrícola y retiro de residuos de cosecha del cultivo de maíz sobre la implantación y el rendimiento en trigo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ¿SIEMBRA DIRECTA = RASTROJO EN SUPERFICIE?

La degradación observada en el recurso suelo en los últimos 50 años, ha fomentado el uso de tecnologías de manejo alternativas para minimizar y revertir las pérdidas por erosión. Por este motivo, en Uruguay a partir de 1990 comienza a aumentar la utilización de la siembra directa. Scarlato et al., citados por Ernst et al. (2002) afirman que esta tecnología fue utilizada en forma total o parcial por el 40 % de los productores agrícolas del litoral del país, en el año 2000. Para el año 2008, Hoffman et al. (2010) establece que la siembra directa es adoptada en un 89% del área de cultivos agrícolas.

Para que esta técnica tenga resultados exitosos es necesario implementar un conjunto de medidas de manejos apropiadas, como lo es la cobertura por parte del residuo de cosecha, dejando suficiente cantidad de residuos en la superficie, lo cual posibilita conservar el suelo y minimizar las pérdidas de agua en el mismo, además, cuando se descomponen los residuos aumentan el contenido de materia orgánica y el nivel de nutrientes que presenta el suelo (Moldenhauer et al., Ernst et al. 2002).

Una cobertura adecuada por parte del rastrojo, se encuentra en torno al 30%. A su vez, este porcentaje de cobertura se logra con aproximadamente 2 toneladas de rastrojo de maíz por hectárea, siempre y cuando sean distribuidos uniformemente sobre la superficie (Unger et al. 1995, Erenstein 1997, Velázquez et al. 2001).

Por otro lado, no solo importa la presencia de rastrojo sino también el tiempo que el mismo permanece cubriendo el suelo. La tasa de descomposición de los residuos vegetales, depende de factores propios del rastrojo y de factores inherentes al ambiente edáfico y de manejo. En lo que respecta a los primeros, los factores son la concentración de nitrógeno o su relación C/N, contenido de lignina y carbohidratos solubles. Referente a los factores del ambiente edáfico, el proceso de descomposición se ve afectado por la temperatura, humedad y disponibilidad de nutrientes. En cuanto a los factores de manejo, corresponden a la cantidad del residuo, al tamaño de partícula y al lugar de descomposición sobre o dentro del suelo (Brown y Dickey, citados por Ernst et al., 2002).

Ernst et al. (2002), encontraron una relación lineal significativa ($p < 0,05$) entre el peso de 3 tipos de residuos y el tiempo de descomposición de éstos ubicados en superficie y proporcional a la concentración de N inicial de los mismos. Sin embargo, la velocidad de descomposición no solo depende de la cantidad y de su composición química, sino también de las condiciones edafambientales, de la presencia y nivel de actividad de los microorganismos entre otras cosas.

En un ensayo dirigido por Ernst et al. (2002), encontraron que el contenido de N en el rastrojo de maíz, aumentaba con el paso del tiempo. Lo cual está explicado por la pérdida de peso del rastrojo y la inmovilización adicional de N desde el suelo. A los 180 días pos cosecha de maíz se encontraba el 90 % del rastrojo inicial lo que correspondía a $7200 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ con 0,79% de N, lo que se traduce en $56 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ del nutriente, de los cuales solo el 53,6% estaban al iniciar, lo que significa que $25,9 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ fueron inmovilizados.

Blackmer y Green (1995), demostraron que la descomposición del rastrojo se enlentece si los niveles de N provenientes del suelo y fertilizante son bajos, sin embargo por encima de determinado nivel de N en suelo los efectos dejan de presentar importancia. Por lo tanto la fertilidad del suelo puede presentarse como limitante para la descomposición de residuos en superficie. En el mismo experimento se encontraron que el rastrojo de trigo se descompuso a menor tasa diaria después del cultivo de maíz, lo cual puede estar explicado por la mayor inmovilización de N que se produce durante la descomposición del maíz. Con esto se puede deducir que cuando se retira el rastrojo de maíz, la descomposición de los residuos de trigo se da con mayor tasa diaria, siempre y cuando los niveles de disponibilidad de N en suelo sean bajos.

En resumen, cuando se utiliza siembra directa, es de vital importancia dejar los residuos del cultivo anterior sobre la superficie del suelo. Ésta práctica tiene como objetivos en el sistema:

- Proteger el suelo de la erosión hídrica y eólica.
- Disminuir el escurrimiento superficial del agua.
- Favorecer la infiltración del agua.
- Disminuir la evaporación directa del agua desde la superficie del suelo.
- Incorporar materia orgánica (y por lo tanto C, N, P, S y otros) al suelo.

- Generar coloides orgánicos por descomposición.
- Mejorar la estructura y estabilidad de los agregados del suelo.
- Aportar elementos nutritivos a las plantas y mejorar la fertilidad del suelo.
- Mejorar la actividad biológica del suelo.

2.2. EFECTO SOBRE LA IMPLANTACIÓN DE TRIGO

Muchos son los autores que afirman que una buena implantación es la clave para mejorar la eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes disponibles, con lo cual es esperable obtener los rendimientos deseados.

La retención de residuos en siembra directa, disminuye la temperatura del suelo en los primeros centímetros lo cual puede afectar el normal desarrollo de los cultivos en los estadios iniciales. Esto último es debido a que, entre otras cosas, la temperatura del suelo es un factor que desencadena efectos en la germinación, la emergencia de plántulas y el desarrollo de las plántulas de los diferentes cultivos.

En un informe de Fraschina et al. (2002) en el que se refiere al daño provocado por frío sobre el cultivo de trigo, comentan que con abundante acumulación de rastrojo de maíz, se observaron mayores daños provocados por las bajas temperaturas durante la implantación. Según los autores, este efecto es explicado, probablemente, por la aislación que ejerce el rastrojo sobre la superficie impidiendo la capacidad de neutralizar el efecto de la helada por parte del suelo, lo cual se traduce en una mayor duración del fenómeno encima del rastrojo (Fraschina et al., 2012).

Otro efecto del rastrojo en superficie sobre la implantación del cultivo, es la dificultad operativa a la hora de la siembra; sin embargo este obstáculo depende de la cantidad de rastrojo y del cultivo del cual proviene dicho rastrojo. El rendimiento del cultivo es quien define la cantidad de rastrojo que queda en superficie, aquellos cultivos de alto rendimiento dejan elevados niveles de rastrojos, por ejemplo un cultivo de trigo que obtuvo un rendimiento de 3500 Kg*ha⁻¹ en general deja 10 ton de rastrojo*ha⁻¹ mientras que un cultivo de maíz con un rendimiento de 9000 Kg*ha⁻¹ puede dejar en el campo 18 ton de rastrojo*ha⁻¹ (Acevedo y Silva, s.f.).

Cencig et al. (2011), afirman que para el cultivo de colza en siembra directa, la abundancia de rastrojos en superficie tienden a dificultar la implantación del cultivo, por un lado porque se compromete la colocación de la semilla a la profundidad deseada y el correcto cierre del surco y por otro, en las primeras etapas de desarrollo de las plantas las mismas sufren mayormente los efectos de las heladas. Estos autores realizaron un ensayo con y sin remoción de residuos de cosecha. En el mismo se midieron la cantidad de plantas por metro cuadrado en tres momentos (cotiledón, B2 y B6-B8), encontrándose diferencia significativa a favor del tratamiento sin rastrojo en superficie a partir del estadio B2 pero no así en la etapa cotiledoneal. Estos efectos son debidos a que la presencia de volúmenes importantes de rastrojos, producen un incremento en el efecto nocivo de las heladas sobre las plantas, de la misma forma que lo afirman Fraschina et al. (2012) para trigo.

La siembra directa dejando rastrojos en superficie es una práctica muy común en los últimos 10 a 15 años en la agricultura uruguaya. Esta tecnología permite reducir la erosión hídrica y eólica, mejorar el balance hídrico y de nutrientes del suelo. Sin embargo, a pesar de las variadas ventajas que presenta la misma en comparación al laboreo convencional, los rendimientos en la primera continúan siendo a menudo inferiores (Silva, s.f.). Este autor declara que los menores rendimientos observados son dados por una serie de factores negativos, donde uno de ellos es la presencia de rastrojos y su efecto alelopático. La alelopatía es observada con mayor efecto negativo durante las primeras etapas de descomposición y luego de lluvias, pudiendo disminuir la germinación de semillas o afectando el normal crecimiento de plántulas en desarrollo. Todos los diferentes tipos de rastrojos incluidas las variaciones según las distintas partes de la planta que componen a cada uno, muestran efecto alelopático sobre la germinación y crecimiento del posterior cultivo de trigo (Triñanes y Uriarte, 1984).

Los ácidos fenólicos son los más comunes de encontrar con importante efecto alelopático, siendo estos compuestos los que afectan el crecimiento de las plántulas de trigo (Rice, 1984). En los residuos de cosecha, la producción de compuestos aleloquímicos depende de ciertas modificaciones del ambiente como la presencia de humedad en el rastrojo y temperatura del aire sobre congelación y bajo 15°C, las cuales son las condiciones ambientales que dan inicio al proceso de descomposición de los residuos (Silva, s.f.).

Guenzi et al. (1967), midiendo la duración de la toxicidad que ejercen sobre el trigo los compuestos producidos por los restos vegetales de maíz, trigo, avena y sorgo en la superficie, encontraron que desde el momento de la cosecha todos los residuos redujeron el crecimiento de las raíces y macollas. Los rastrojos de sorgo fueron los más tóxicos mientras que los de trigo fueron los que presentaron menor toxicidad. Sin embargo es preciso recordar que con residuos de maíz el rastrojo de trigo permanece más tiempo lo cual se podría decir que se suman los efectos alelopáticos.

2.3. EFECTO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA EL CULTIVO DE TRIGO

Uno de los factores de importancia para obtener mayores rendimientos cuando se realiza agricultura de secano es conseguir mayor eficiencia en la absorción de agua. Para que exista absorción desde el suelo, la misma debe infiltrar en el perfil lo cual no solo depende de la capacidad de retención del tipo de suelo, sino también de la velocidad de filtración del agua de lluvia. Cuando el cultivo es realizado en siembra directa, se modifican positivamente algunos factores que actúan sobre la velocidad de filtración, como lo pueden ser la permanente cobertura de residuos de cosecha y acumulación de residuos orgánicos en los primeros centímetros de suelo, (Fraschina et al., 2002). La cobertura con restos asociados a la SD reduce las pérdidas de humedad por evaporación, aumenta la infiltración y disminuye la velocidad de los escurrimientos superficiales, permitiendo controlar la erosión (Domínguez et al., 2001).

Cuando se estudia cómo influye la persistencia del residuo de cosecha en cuanto a la disponibilidad de agua, es necesario saber en que el proceso de evaporación de agua desde el suelo, depende primeramente de la energía aportada por la radiación solar directa. Sabiendo que el rastrojo actúa como una barrera física en los intercambios de masa y energía, la evaporación del agua desde el suelo disminuye en presencia de rastrojo debido a que la radiación solar no incide directamente sobre el suelo (Reyes et al., 2002); además la presencia del rastrojo disminuye la temperatura del suelo lo cual minimiza las pérdidas de agua por evapotranspiración (Hussain et al., 1999).

Por otro lado, Reyes et al. (2002) afirman que el rastrojo en la superficie produce que las gotas de lluvia choquen contra el mismo, con lo cual se obtiene

una disipación de la energía cinética de las gotas y éstas infiltran lentamente sin producir sellamiento superficial ni erosión hídrica y por ende menor escurrimiento superficial y un mejor balance hídrico del suelo. Según Lopes et al. (1987), Acevedo y Silva (2003), con cantidades de residuos de cosecha suficientes para cubrir el 40% del suelo se logra reducir la erosión provocada por las gotas de lluvia en forma significativa en comparación a un suelo desnudo. A un mismo nivel de cobertura, el suelo se encuentra mejor protegido por los rastrojos más finos como lo son de trigo o cebada en relación a los rastrojos más gruesos como es el caso de maíz o sorgo.

Los residuos vegetales afectan el contenido de agua del suelo, principalmente en los primeros centímetros, lo cual explica en alguna medida los rendimientos obtenidos del cultivo posterior. La influencia de dichos residuos, se encuentra determinada por el tipo de material así como por su cantidad. Sin embargo, en Uruguay las lluvias de otoño e invierno en promedio son suficientes para corregir las pérdidas de agua del suelo extraídas en los cultivos de verano, de tal forma que este problema no es de mayor importancia, con excepción de los años en que el otoño e invierno se presentan secos.

2.4. EFECTO SOBRE LA DINÁMICA DEL NITRÓGENO

La concreción de altos rendimientos en los cultivos, se logra alcanzar a través de un conjunto de factores que interaccionan entre sí. Uno de ellos es la disponibilidad de nitrógeno. En los sistemas con rotación cultivo – pastura, el ingreso de nitrógeno se da por tres vías posibles, la fijación biológica del N atmosférico por la asociación *Rhizobium* – leguminosa, los fertilizantes nitrogenados y por los residuos de la cosecha (Sawchik, 2001).

En siembra directa se incrementa la inmovilización de nitrógeno debido principalmente a la deposición de residuos en superficie los cuales generan condiciones que dificultan y enlentecen su descomposición, prolongando la inmovilización de nitrógeno en comparación con el laboreo convencional (Rice y Smith 1984b, Sánchez et al. 1998).

Longeri et al. (2001), después de tres años de dejar o retirar el rastrojo y evaluar el efecto sobre el nitrógeno mineral en el suelo, concluyeron que no había diferencias significativas entre dejarlo o quitarlo. Después de tres años de dejar el rastrojo sobre el suelo, en promedio 4.5 Mg*ha^{-1} de paja de trigo y 8.5 Mg*ha^{-1} de maíz con una relación C/N de 62 y 35 respectivamente, no se

encontraron incrementos en el nitrógeno mineral en el suelo. Según Jansson, citado por Longeri et al. (2001), esto puede darse por las necesidades que tiene el sistema de satisfacer primero los requisitos del propio ciclo interno del nitrógeno en el suelo, los cuales son generados cuando se encuentra en presencia de residuos de cosecha y aumenta el reservorio de nitrógeno en el suelo, antes de que se pueda liberar este mineral al suelo.

En similares condiciones ambientales, los residuos de cosecha permanecen por mayor tiempo sobre el suelo en comparación con los mismos cuando son incorporados en profundidad en siembra con laboreo. Esto produce una disponibilidad diferente y menor del contenido de nutrientes en el suelo, principalmente cuando se habla de nitrógeno (Schomberg y Steiner, 1999).

Longeri et al. (2001) evaluando la dinámica del nitrógeno bajo diferentes rotaciones, sistemas de labranza y manejo de residuos en trigo, no obtuvieron resultados concluyentes en cuanto a la práctica de dejar o retirar los residuos de cosecha del cultivo anterior, aunque estos autores esperan que los beneficios de la misma comiencen a observarse con el transcurso de los años. Sin embargo, la práctica de dejar el residuo de cosecha sobre el suelo (al igual que la labranza cero) produjo un aumento significativo de la biomasa microbiana del suelo, la cual es considerada como indicador biológico positivo de la calidad del suelo y de la sustentabilidad de los sistemas. En este mismo experimento tampoco se encontraron diferencias significativas en lo que respecta a la absorción de nitrógeno por parte del trigo cuando se evaluó el efecto de la presencia o ausencia de residuos, ni aún en años contrastantes en cuanto a disponibilidad hídrica (Longeri et al., 2001).

Las cañas del cultivo de maíz son órganos que presentan grandes concentraciones de lignina, esto se traduce en un mayor tiempo de descomposición del rastrojo, lo cual es un problema en lo que respecta a la disponibilidad de nutrientes para el posterior cultivo de invierno (Martin y Halder, citados por Triñanes y Uriarte, 1984). Según estos autores, en los primeros seis meses la mayor tasa de carbono se perdió por descomposición para luego comenzar a disminuir debido principalmente a la menor actividad de los microorganismos y una mayor proporción de compuestos lignificados o menos degradables.

Los residuos de cosecha que permiten una acumulación de sustancia orgánica muerta en la superficie bajo siembra directa juegan un papel

preponderante en la determinación y función del ecosistema suelo, lo cual se cumple a través de su acción como fuente de energía para una heterogeneidad de organismos, como fuente de nutrientes para su posterior reciclaje y como regulador hidrológico del sistema. Los microorganismos del suelo utilizan el rastrojo para su nutrición y se multiplican en grandes proporciones gracias a ello. Cuando en el suelo se descomponen residuos con poco nitrógeno, como lo son la mayoría de los restos vegetales de cultivos para grano (alta relación C/N), los microorganismos cubren sus demandas absorbiendo el nitrógeno del suelo, con lo cual se produce una inmovilización del mismo, provocando posibles deficiencias de este nutriente en los cultivos sucesores. Una vez descompuesto el rastrojo en superficie en su totalidad, la población microbiana comienza a descender a los niveles normales y devuelve al suelo el nitrógeno extraído (Triñanes y Uriarte, 1984). Sin embargo, McCalla y Norstadt (1974) afirman que la relación C/N de los residuos de cosecha agregados al suelo no es la causa principal de la reducción de los rendimientos en cultivos sucesores.

Kimber (1973) encontró que el nitrógeno es inmovilizado principalmente por dos vías, por la incorporación directa a las células microbianas y por la asociación con compuestos fenólicos los cuales son derivados de la descomposición de los residuos vegetales del cultivo antecesor. Tanto la inmovilización del nitrógeno como las toxinas afectan el rendimiento final del trigo cuando éste crece en presencia de abundantes residuos de cosecha y la inmovilización es mayor cuando éstos son enterrados (Kimber, citado por Triñanes y Uriarte, 1984).

Triñanes y Uriarte (1984) evaluando el efecto de residuos de cosecha de diferentes materiales de verano sobre el trigo, encontraron que los distintos rastrojos presentaban diferencias en su capacidad de mineralización. Los residuos de maíz demostraron ser los rastrojos de mayor capacidad de mineralización; encontrando una mayor disponibilidad de nitrógeno residual en la espigazón para los trigos sembrados luego del maíz. La mayor capacidad de mineralización se manifestó recién en espigazón y no en los estados anteriores del trigo, atribuyendo este efecto a que las condiciones ambientales predisponente para una buena mineralización no fueron las adecuadas en las etapas iniciales del cultivo de invierno. Es importante destacar que en invierno la mineralización de nitrógeno (amonio y nitrato) se encuentra limitada por las bajas temperaturas, sin embargo en el verano la mineralización se hace máxima dado por las mejores condiciones para dicho proceso (Sawchik, 2001).

La mayor mineralización en rastrojo de maíz a diferencia con los residuos de otros cultivos está dada porque luego del maíz la constitución química y el contenido de N-NO₃ en los primeros 20 cm del suelo es menor en relación al contenido del mismo luego del cultivo de soja, por ejemplo.

En cuanto a los niveles de N total del suelo, Vidal et al. (1997), cuantificaron variaciones entre 0.118% y 0.150% las cuales fueron atribuidas solo al manejo de residuos. La permanencia de los residuos vegetales suministró 50 mg de N por kg extra al suelo lo cual se traduce en 100 kg del nutriente en los primeros 20 cm del perfil. En las condiciones de este ensayo, el sistema de cero labranza incrementó en un 30 a 40% la biomasa microbiana y la retención de residuos en un 20 a 30%. Este sistema se destacó con mayores valores de N-biomasa, superando en 38, 55 y 92% a los tratamientos cero labranza/remoción, convencional/retención y convencional/remoción, respectivamente.

2.5. EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE TRIGO

Cuando el rastrojo permanece en la superficie del suelo, son enfrentadas algunas dificultades como por ejemplo la transmisión de enfermedades vía rastrojo. Por esto, los productores se plantean como alternativa válida la quema o la incorporación de los mismos al suelo, sin embargo en regiones donde existen procesos erosivos significativos, déficit de agua en el ciclo de los cultivos o problemas de degradación de los suelos, la práctica de dejar los residuos de cosecha en superficie cuando se realiza siembra directa continuará siendo un manejo adecuado (Morón, 2001).

Riquelme et al. (s.f.) trabajando con cuatro cantidades de retiro de rastrojo de trigo (0, 50, 75 y 100% de rastrojo en superficie), evaluó su efecto sobre la producción de una posterior pastura de alfalfa, no encontrando diferencias significativas entre los tratamientos de respuesta en el manejo del rastrojo al primer año de la pradera. Por otro lado, en un experimento similar en cuanto a los tratamientos (0, 30, 60 y 100% de rastrojo en superficie) pero evaluando su efecto sobre el cultivo de avena, encontraron que el tratamiento que retiraba el 40% presentaba diferencia estadísticamente significativa en relación al tratamiento en el que se retiró todo el rastrojo, mejorando el rendimiento del cultivo en el caso del tratamiento con un 40% de retiro de residuo de cosecha.

En ensayos con tratamientos que implicaban la combinación del factor tipo de siembra y permanencia o retiro de rastrojo, entre otros factores, se encontró que en un año con déficit hídrico la siembra directa con retención de residuos de cosecha del cultivo anterior al trigo presento los mejores resultados en cuanto a rendimiento, por otro lado cuando la condición hídrica del año no fue restrictiva, no se observaron mejores rendimientos de este tratamiento. En condiciones de estrés hídrico, la siembra directa con rastrojo en superficie presenta menores perdidas por evaporación de agua del suelo favoreciendo la disponibilidad de ésta, lo cual está dado por la cubierta de residuos que queda en la superficie y la no exposición de la capa arable a la radiación solar y el viento (Longeri et al., 2001).

El rendimiento relativo del cultivo de trigo se ve disminuido cuando es sembrado directamente en suelos con rastrojos en superficie. En regiones donde las precipitaciones son altas, el efecto depresivo observado es de mayor nivel, lo cual se encuentra explicado principalmente por la inmovilización de nutrientes por parte del rastrojo, fitotoxinas liberadas y también por diferentes especies de patógenos. Estos producen muerte de plantas y enfermedades de raíz, las cuales son favorecidas en suelos con contenido de humedad alto y temperatura bajas de los mismos. Cuando se realiza siembra directa y el rastrojo permanece en superficie, se dan las condiciones que favorecen a los patógenos (Cook y Haglund, Martino, citados por Stewart et al., s.f.).

Myers et al. (1997), afirman que las pérdidas de rendimiento debido a déficit de N en cultivos cerealeros, son provocadas en alguna medida por la presencia de altas cantidades de rastrojo de baja calidad en momentos de alta demanda de N por parte del cultivo.

Por lo tanto es necesario plantearse la pregunta, si frente a mucho rastrojo y de mala calidad ¿Qué sería mejor, dejarlo en superficie o retirarlo parcialmente?

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO

Las tareas de campo del ensayo fueron llevadas a cabo en las instalaciones de la Estación Experimental Dr. Mario Antonio Cassinoni (EEMAC), la cual se encuentra ubicada en el departamento de Paysandú – Uruguay, sobre la ruta nacional No. 3 (km 363). En lo que respecta a las coordenadas geográficas del experimento, el mismo se ubicó a 32° 22' 45" de latitud sur y a 58° 03' 45" de longitud oeste, a una altitud que se encuentra entre 48 y 50 metros.

Según la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay (escala 1:1.000.000, Altamirano et al., 1976), el tipo de suelo predominante de la zona es del tipo Brunosol Eutrico Típico (Háplico) limo arcilloso, correspondiente a la unidad San Manuel dentro de la formación Fray Bentos, el cual presenta una variación de profundidad que va desde mínimos de 50 cm hasta máximos de 80 cm.

3.2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

3.2.1. Aspectos tecnológicos y logísticos de la instalación del ensayo

El ensayo fue realizado entre los meses de abril y noviembre del 2010; en dicho período se desarrolló la etapa correspondiente al cultivo de trigo, siendo en el cual se llevó a cabo los muestreos y evaluaciones para determinar el efecto de los diferentes tratamientos (porcentaje de retiro de rastrojo de maíz) en la producción del mismo.

La siembra del trigo fue realizada el 4 de junio, utilizándose una sembradora directa Semeato de 11 líneas, con un espaciado entre hileras de 17,5 centímetros y con el objetivo de siembra de 35 plantas por metro lineal. Para alcanzar la densidad de plantas deseada se sembró en cada parcela una cantidad equivalente a los 80 Kg de semilla por hectárea, ya que el peso de mil semillas fue de 32,67 gramos en promedio y su germinación de 88%. Previo a la siembra, fueron medidos tanto el peso de mil granos (PMG) así como el valor de germinación. La variedad utilizada fue LE 2331 (INIA "Don Alberto"), la cual se caracteriza por ser de ciclo corto, con baja estatura, resistente a vuelco y desgrane así como a brotado en espiga (Verges et al., 2007). Según la

bibliografía consultada, para el norte del país, esta variedad presenta su fecha óptima de siembra a inicio de junio.

El día de la siembra se aplicó herbicida de amplio espectro (glifosato), para controlar malezas. Dicha aplicación se realizó a razón de 3 litros de producto comercial de herbicida en 120 litros de agua por hectárea.

En lo que respecta a la fertilización, al momento de la siembra, según los niveles de P y N en suelo (cuadro 1) y en base a lo recomendado por el modelo de ajuste de nitrógeno a siembra (Hoffman et al., 2010), se aplicó 22 kg*ha⁻¹ de Nitrógeno y 55 Kg*ha⁻¹ de P₂O₅, para lo cual se utilizaron 120 Kg*ha⁻¹ de Fosfato de Amonio (18-46/46-0). La fertilización característica en Z 22, no fue realizada dado que se consideró que los niveles de N-NO₃ medidos por análisis de suelo en los primeros 20 centímetros, se encontraban en cantidades suficientes. Por el contrario, a través del análisis de planta en Z 30 se encontró insuficiencia de nitrógeno en el cultivo (% N en planta 3,66 en promedio), por lo que, en base al modelo propuesto por Baethgen, citado por Hoffman et al. (2010) se utilizaron cantidades equivalentes a los 100 Kg*ha⁻¹ de urea.

Cuadro 1. Niveles de nutrientes en los tres estadios claves para realizar fertilizaciones en cereales de invierno, dosis de cada nutriente aplicado y fertilizante utilizado en cada momento.

Estadio	Niveles N en suelo y planta	N aplicado (Kg*ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ aplicado (Kg*ha ⁻¹)	Fertilizante
Siembra	6,5 ppm	22	55	120 Kg*ha ⁻¹ (18-46-0)
Z 22	9,4 ppm	0	0	0
Z 30	3,7 %	46	0	100 Kg*ha ⁻¹ (Urea)

3.2.2. Secuencias de cultivos en las rotaciones agrícolas

La siembra se desarrolló en el marco de dos secuencias de cultivos ya existentes al momento de la instalación del ensayo, bajo la sistemática de agricultura continua y con siembra directa. La primera rotación agrícola estuvo compuesta de cultivos de sorgo grano y maíz en verano y al cultivo de trigo en invierno, con una duración de 2 años (figura 1). La segunda secuencia, se diferenció de la primera únicamente en la sustitución de sorgo grano por sorgo

dulce (figura 2). A continuación se plantean los esquemas representativos de ambas rotaciones agrícolas. En ambos casos, se tomó como punto de partida el cultivo de trigo, ya que dicho cultivo es el objeto de estudio en este trabajo.

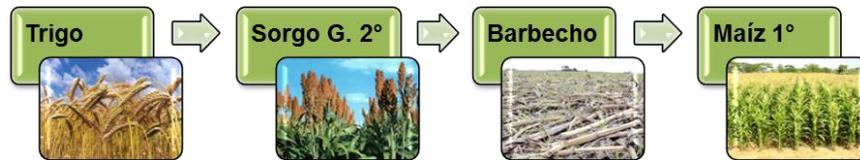


Figura 1. Esquema de rotación agrícola No. 1

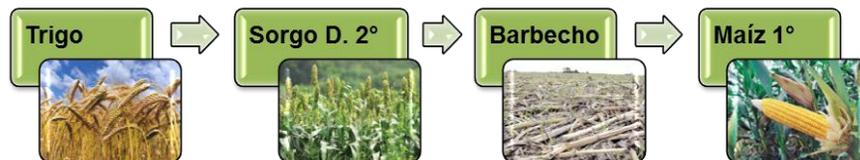


Figura 2. Esquema de rotación agrícola No. 2

3.2.3. Definición de tratamientos

En el momento de la cosecha del cultivo de maíz (antecesor de trigo), se implementaron los tratamientos pertenecientes al ensayo. Los mismos correspondieron a distintas cantidades de retiro de rastrojo (RR en porcentaje), para lo cual la cosecha de maíz se realizó a tres alturas diferentes.

El 23 de abril se procedió a efectuar el corte de todas las parcelas a la altura “normal” de cosecha, a nivel (en promedio) de la base de la espiga; seis parcelas de un total de quince permanecieron con dicha altura de corte, las cuales correspondieron al tratamiento de 0% de retiro de rastrojo. Una vez cosechadas todas las parcelas, en tres de las nueve restantes se efectuó un nuevo corte a la mitad de la altura remanente, con el posterior retiro del residuo sobrante utilizando un rastrillo lateral de 4 estrellas. Dichas parcelas representaron el tratamiento de 40% de retiro de rastrojo. Para representar el tratamiento correspondiente al 80% de retiro de rastrojo, se procedió a través de un corte al ras del suelo, para luego retirar los residuos sobrantes con el rastrillo lateral de tal forma de dejar un remanente de 20%.

Es importante de destacar que los tres tipos de tratamientos no fueron aplicados en su totalidad en las dos diferentes rotaciones agrícolas. En la primer secuencia descrita (RA No. 1), es en la que se evaluaron el total de los

tratamientos (0% – 40% – 80% RR) para lo que se realizaron tres repeticiones de cada uno. Sin embargo, en la segunda rotación agrícola (RA No. 2), no se desarrollaron los tres tratamientos. En la misma solamente se aplicaron los tratamientos correspondientes a 0% y 80% de retiro de rastrojo; cada uno en un total de tres parcelas. Esta decisión fue tomada en base a que el sorgo dulce es utilizado para la realización de silo planta entera, con lo cual es retirado la totalidad de la planta quedando un remanente equivalente al tratamiento 80% de retiro de rastrojo, por lo cual no tiene sentido agronómico plantear el tratamiento RR 40%.

3.2.4. Muestreo de materia seca de maíz (rastrojo)

Una vez cosechado el cultivo de maíz y definidos los tratamientos, se realizó un muestreo de la cantidad de materia seca del rastrojo de cada una de las parcelas. Para dicha actividad se procedió a recoger el remanente de una superficie total de 1,25 m² por parcela, para lo cual se utilizó un cuadro de 0,5 m x 0,5 m con 5 repeticiones por parcela; el mismo se efectuó recogiendo todo el residuo dentro del cuadro. A las muestras se les cuantificó el peso fresco y seco, con lo cual se calculó el contenido de humedad para luego deducir la disponibilidad de rastrojo en cada una de las parcelas de los diferentes tratamientos (expresado en kg de MS*ha⁻¹).

3.2.5. Porcentaje de cobertura

Una vez obtenido el valor de disponibilidad de MS de rastrojo para cada tratamiento, se procedió a estimar el porcentaje de cobertura. Para dicha actividad, se muestrearon 400 puntos por parcela los cuales se encontraron distanciados 5 cm entre puntos sucesivos. Debido a que el largo de las parcelas fue de 30 metros, se decidió realizar el muestreo dispuesto en forma diagonal sobre la parcela, para lo cual se relevó una longitud de 20 metros lineales. Al igual que la disponibilidad de MS, el porcentaje de cobertura debería ser mayor en las parcelas correspondientes al tratamiento 0% RR, intermedio en 40% RR y de menor magnitud en el tratamiento de 80% RR. Por lo tanto, la disponibilidad de MS y el porcentaje de cobertura deberían encontrarse altamente correlacionados y presentar una tendencia lineal entre una y otra variable. Esto último será analizado en capítulos posteriores.

3.2.6. Población

Luego de la siembra y fertilización basal, se cuantifico la población alcanzada. Para esto, primeramente se eligió una línea de siembra representativa en cada una de las parcelas en la cual se marcó una longitud de 10 metros lineares, posteriormente en los mismos se realizaron todas las demás mediciones.

Se realizaron dos conteos de plántulas para estimar implantación, el primero fue llevado a cabo el 26 de junio y el segundo el día 9 de julio del 2010. Esto se debió a que fue considerado necesario realizar una segunda medición, debido fundamentalmente a que en la etapa de implantación del cultivo ocurrieron días con fuertes precipitaciones y encharcamiento de zonas dentro de parcelas, con lo que se produjo muerte de plantas. Con la información se calculó la población por metro cuadrado.

3.2.7. Macollaje

El procedimiento para estimar el número de macollos por metro cuadrado, fue similar que el implementado en la medición de población. Para la estimación del número de tallos también se efectuaron dos mediciones, una ubicada en el día 27 de julio y la segunda medición el día 30 de agosto del 2010. Las plantas en las cuales se contó la cantidad de tallos correspondieron a las mismas en las que se realizó la estimación de población, las cuales se encontraban dentro de los 10 metros lineares marcados.

Una vez obtenido el número de macollos en los 10 metros lineares, fue posible calcular cuántos tallos por planta había en cada tratamiento así como el número de tallos por metro cuadrado.

3.2.8. Espigazón

Antes de la última actividad de campo, o sea la cosecha, se realizó el conteo de espigas. Para esto se procedió a cuantificar el número de espigas ubicadas dentro de la longitud establecida para realizar las diferentes mediciones y muestreos. La primera cuantificación del número de espigas presentes en cada parcela, fue efectuada al momento de 50% de anthesis, el cual se registró el día 13 de octubre. Una vez cosechado el ensayo, se realizó

una nueva estimación del número de espigas, para esto se contabilizó el número de espigas en la superficie cosechada.

3.2.9. Cosecha

Es importante destacar que previo a la madurez del cultivo, se decidió aplicar glifosato a razón de $4 \text{ lts} \cdot \text{ha}^{-1}$ de producto comercial, para homogeneizar y reducir la humedad de cosecha. Dicha aplicación fue realizada 13 días antes de cosechar el cultivo (13 de noviembre). Para obtener los datos de rendimiento del ensayo, antes de cosechar la totalidad de cada parcela, fue debido cortar en forma manual los diez metros marcados, lo cual se efectuó con tijera de aros. Cada corte manual de los diez metros correspondió a un fardo que luego sería procesado.

El total del área de cada parcela fue cosechada el día 26 de noviembre, la cual se realizó de la misma manera que cuando se establecieron los tratamientos del ensayo. Primeramente se procedió a cortar el trigo a tres alturas diferentes al igual que se cortó el maíz en su respectivo momento, las cuales fueron a la altura “normal” de corte la que corresponde al tratamiento 0% RR, una segunda a la mitad de la altura del corte anterior que representa el tratamiento 40% RR y la tercera altura se realizó al ras del suelo, la cual corresponde al tratamiento de 80% RR. Luego de tener definidos las tres alturas de corte, se retiró el exceso de residuos de las parcelas correspondientes a los tratamientos 40 y 80 % de RR.

3.2.10. Muestreo de nitratos en suelo y nitrógeno total en planta

En el muestreo de suelo para el posterior análisis de nitrato se utilizó un calador de suelos, con el cual se efectuaron los muestreos en forma individual para las 15 parcelas. En cada una de las mismas se recolectaron 10 muestras de suelo a una profundidad de 20 centímetros. El primer muestreo para nitratos se realizó previo a la siembra del cultivo de trigo, precisamente 11 días pre siembra (25 de mayo). El segundo muestreo realizado fue el día 25 de junio al momento de pos emergencia del cultivo. Dicho muestreo, no se realizó para establecer un nivel de fertilización, sino que fue efectuado para observar la evolución del nivel de nitratos en cada uno de los tratamientos. El tercer y último muestreo se realizó el día 26 de julio el cual correspondió al estadio de inicio de macollaje. Con dicho muestreo de suelo, no solo se obtuvo la evolución del

contenido de nitratos sino que también se definió el nivel de fertilización a aplicar en ese momento.

En lo que respecta al análisis de nitrógeno total en planta, el mismo fue realizado como lo indica la bibliografía, en el estadio Z 30 (inicio de encañazón). Para esto, el día 30 de agosto, se procedió a recoger 10 plantas completas de por parcelas. Con los resultados se estableció la dosis de la tercera fertilización nitrogenada a realizar.

3.2.11. Actividades post – cosecha.

Una vez obtenidos los fardos cosechados correspondientes a cada parcela, como ya fue comentado anteriormente; se procedió a contabilizar el número de espigas totales en cada uno de ellos. Con dicha información se logró obtener el número de espigas por metro cuadrado. Posteriormente y obtenido el peso en kilogramos de cada fardo, la siguiente actividad fue la trilla de los mismos. El área de cosecha abarcó 1,75 metros cuadrados ya que la distancia entre hileras fue de 17,5 centímetros. Para la realización de la trilla se utilizó una trilladora estacionaria experimental y luego se separó el grano de los restos vegetales. Cuando se obtuvieron los granos de cada parcela totalmente limpios se procedió a pesarlos y a cuantificar el porcentaje de humedad de los mismos. Con dicha información fue posible calcular el índice de cosecha del cultivo y el rendimiento corregido por humedad de grano (corrección a 14%). Posteriormente se cuantificó el peso hectolitrito.

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental involucró una estructura de arreglo factorial con un tratamiento adicional completamente aleatorizados y tres repeticiones. Este último es denominado de esta forma ya que no se encontró presente en su totalidad el factor B en ambos niveles del factor principal (factor A). El diseño no fue calificado como diseño con estructura anidada de tratamientos ya que para tal caso los niveles del factor B deberían ser diferentes para cada uno de los niveles del factor A y en este experimento no es así, además si es utilizado este tipo de modelo para el análisis de varianza el mismo interpreta que no es posible establecer interacción entre factores y uno de los objetivos de este trabajo es estudiar el efecto producido por la interacción de ambos factores.

El análisis estadístico fue desarrollado de dos formas, uno sin considerar el tratamiento adicional a través de un análisis de varianza para arreglo factorial completamente aleatorizado y otro utilizando contrastes ortogonales en relación al tratamiento adicional. Para el mismo fue utilizado el software estadístico Infostat versión 2011e actualizada el 06/03/2011.

Los factores evaluados fueron: Factor A – Secuencia agrícola y factor B – porcentaje de retiro de rastrojo.

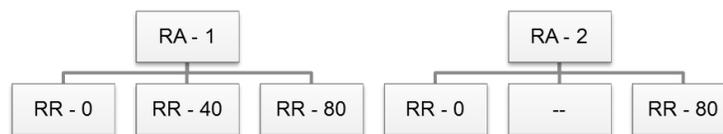


Figura 3. Esquema representativo del arreglo de los dos factores de variabilidad presentes en el ensayo.

Dónde:

RA – corresponde a rotación o secuencia agrícola.

RR – Representa el porcentaje de retiro de rastrojo, expresado en porcentaje.

El número de tratamientos totales es de 5 ya que existen dos secuencias agrícolas y tres cantidades de retiro de rastrojo, pero en la RA 2 únicamente se aplican dos cantidades de retiro de rastrojo.

3.3.1. Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + R_j + R_j(S_i) + \beta_k + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

- Y_{ij} = Variable analizada en función de los tratamientos “i” y “j”.
 - μ = Media general de la población.
 - S_i = Efecto del i-ésimo tratamiento de rotación agrícola.
 - R_j = Efecto del j-ésimo nivel de retiro de rastrojo.
 - $R_j(S_i)$ = Efecto del j-ésimo nivel del retiro de rastrojo dentro del i-ésimo tratamiento de rotación agrícola.
 - β_k = Efecto del k-ésimo bloque.
 - ϵ_{ijk} = Error experimental referido al i-ésimo tratamiento de rotación agrícola, j-ésimo nivel de rotación agrícola y k-ésimo bloque.
- Supuestos: $\epsilon_{ijk} \quad V^s A^s I^s ID \sim N(0, \sigma^2)$

3.3.2. Hipótesis

▣ Ho: El retiro del rastrojo de maíz no modifica el rendimiento esperado del cultivo de trigo.

▣ Ho: No existe diferencia en el rendimiento de trigo cuando es realizado en dos rotaciones agrícolas diferentes, las cuales varían en el cultivo de sorgo (grano o dulce).

▣ Ho: El rendimiento del cultivo de trigo no se ve afectado por la interacción rotación agrícola – retiro de rastrojo.

▣ Ha: El retiro del rastrojo de maíz modifica el rendimiento esperado del cultivo de trigo.

▣ Ha: Existe diferencia en el rendimiento de trigo cuando es realizado en dos rotaciones agrícolas diferentes, las cuales varían en el cultivo de sorgo (grano o dulce).

▣ Ha: El rendimiento del cultivo de trigo se ve afectado por la interacción rotación agrícola – retiro de rastrojo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EL CULTIVO DE MAÍZ (VERANO 2009/10)

4.1.1. Rendimiento de maíz

En la siguiente figura se presentan los rendimientos obtenidos en el cultivo de maíz para los diferentes tratamientos y particionados según rotación agrícola. Se pudo observar claramente una tendencia a obtener menores rendimientos bajo la rotación agrícola No. 2 independientemente del tratamiento de retiro de rastrojo que se tratase. En el mismo sentido, los rendimientos variaron entre mínimos de 2290 Kg*ha⁻¹ y máximos de 5770 Kg*ha⁻¹, con desviación estándar de 1220 Kg*ha⁻¹ en el caso de la rotación agrícola 1 y para la rotación agrícola 2 se observaron rendimientos mínimos del orden de los 1630 Kg*ha⁻¹ y máximos de 5000 Kg*ha⁻¹, con desviación estándar de 1270 Kg*ha⁻¹.

Por otro lado, al momento de plantear el ensayo, lo esperado era que con menor contenido de rastrojo en superficie se logren alcanzar mayores rendimientos en el corto plazo dado por mejor implantación del cultivo, pero como ya se mencionó en cuanto a implantación y como se puede ver en el gráfico de rendimiento de maíz (figura 4) esto no se cumplió completamente ya que en la rotación agrícola 1 y en el tratamiento con mayor cantidad de rastrojo en superficie (RR - 0) se obtuvo el máximo rendimiento, aunque con los mayores desvíos dentro de la RA.

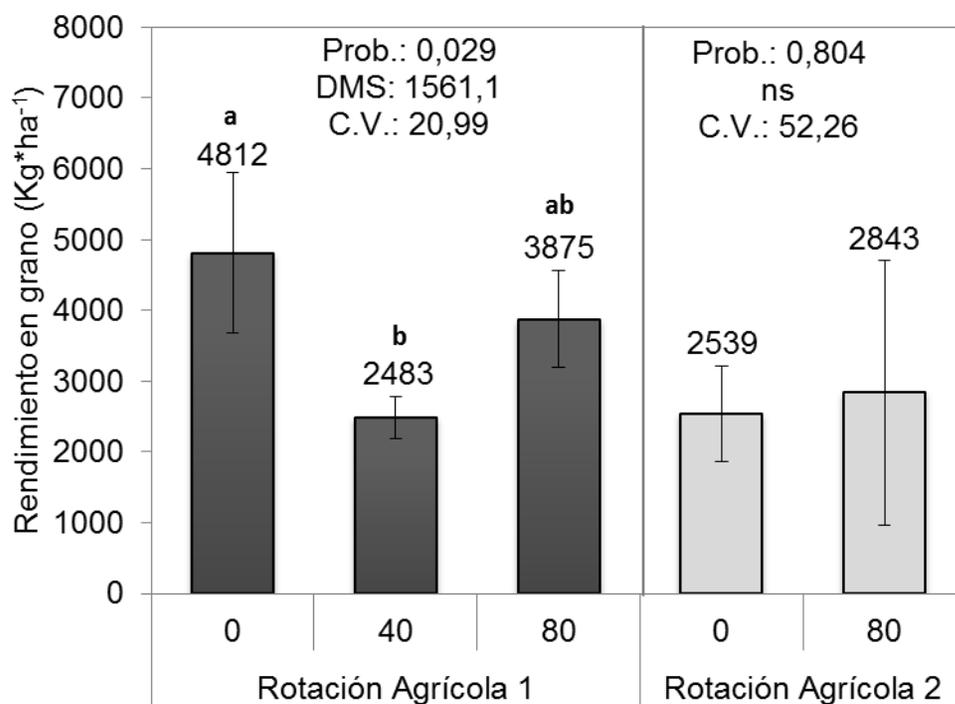


Figura 4. Rendimiento medio corregido por humedad en grano según rotación agrícola en función del porcentaje de retiro de rastrojo¹.

4.2. ANTECEDENTES CLIMÁTICOS DEL PAÍS

El clima de Uruguay se caracteriza, desde el punto de vista térmico, como templado a subtropical en donde las mayores temperaturas se ubican en el mes de enero mientras que las de menor magnitud se encuentran en el mes de julio. En la zona noroeste del país, la temperatura promedio anual es de 19° C; el promedio de las mayores temperaturas (mes de enero) es de 27° C mientras que la media de las temperaturas menores (mes de julio) es de 14° C. Por otro lado, la amplitud térmica en la mayor parte del territorio nacional es de 13° C. En los meses invernales, todos los años se registran helada siendo el período libre de las mismas de 325 días en la región de la costa sur y sudeste, mientras que para el caso de la región centro el período libre de heladas es de 210 días debido a que no presenta influencia del mar (Durán et al., 1999).

¹ Siri Prieto, G. 2010. Efecto de diferentes cantidades de retiro de rastrojo de maíz en la productividad del cultivo de trigo en dos rotaciones de agricultura continua (sin publicar).

Con respecto al régimen de precipitaciones medio, el mismo alcanza valores anuales de 1100 mm, con variaciones de 900 mm en el sur y máximos de 1300 mm en el norte del país. En cuanto a la distribución de las mismas, es posible afirmar que no existe una estacionalidad marcada de las precipitaciones, registrándose en promedio 100 mm mensuales variando en el sur entre los 60 – 70 mm, mientras que en la zona norte se observan valores máximos del orden de 110 – 140 mm. Sin embargo, estos valores promedios de precipitaciones anuales no son siempre regulares, dándose años de sequías con valores anuales de 600 mm y años de excesos hídricos con 1785 mm (ejemplo del año 1914), muchas de las veces concentrados en períodos cortos (Durán et al., 1999).

4.3. DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL AÑO

Cada año presenta particularidades diferentes en cuanto a la dinámica de producción de cultivos de invierno, por esto en cada nueva zafra es preciso realizar las consideraciones y planificaciones necesarias para explotar la eficiencia y eficacia al máximo potencial posible, con el objetivo de lograr el mejor ingreso económico y con un sistema sustentable no solo en el corto plazo sino también en el mediano y largo plazo. Las condiciones climáticas son uno de los factores más importantes que gobiernan la dinámica de los cultivos, ya que las mismas establecen potenciales de rendimiento, momento de ingreso con maquinaria a chacra, posible expresión de plagas y enfermedades; solo por brindar algunos ejemplos clásicos y pensando en la importancia que adquiere el factor clima, el cual aún no es posible de controlar por parte del hombre, por lo que el mismo debe adaptar o modificar las prácticas agrícolas en función de las bondades climatológicas.

El año 2010 no es la excepción a lo mencionado anteriormente, ya que en el mismo se dieron un conjunto de condiciones climáticas que la definieron como particular, tanto en el régimen térmico como en las precipitaciones.

En la figura 5 se representa el nivel de precipitación en cada mes para el correspondiente año, así como el promedio histórico de los últimos 30 años para la localidad de Paysandú.

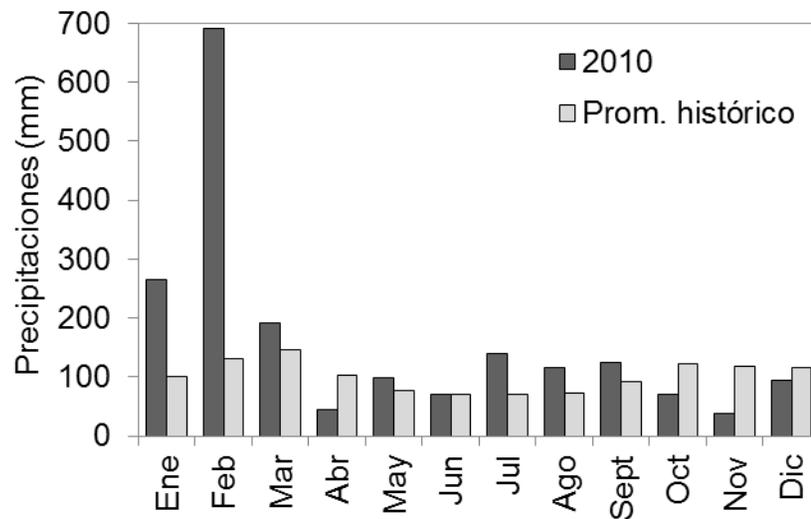


Figura 5. Precipitación mensual para el año 2010 y promedio histórico de los últimos 30 años para Paysandú. Fuente: Datos de casilla meteorológica de la "Estación Experimental Mario A. Cassinoni". El promedio histórico de los últimos 30 años es el régimen utilizado por INIA GRAS para la realización de los balances e índices de bienestar hídrico.

Las lluvias en el mes de mayo (previo a la siembra) son de tal magnitud que es posible afirmar que la siembra del cultivo de trigo fue realizada sobre un suelo sin limitantes en cuanto a la disponibilidad de agua del mismo. Sin embargo, bien es sabido que el régimen de precipitaciones no es el único factor que establece el déficit o exceso hídrico al momento de la siembra. Esto último es confirmado a través del índice PAD (porcentaje de agua disponible) elaborado por la unidad GRAS de INIA, en donde se aprecia que el estado hídrico promedio de los suelos del territorio nacional en el mes de junio fue muy bueno, presentando valores superiores al 70%, lo cual está dado principalmente por la baja evapotranspiración observada en dicho período. De la misma manera, las lluvias ocurridas post-siembra en el mes de junio llevaron a que el cultivo se implantara en forma apropiada.

Una segunda observación es que los últimos dos meses de invierno presentaron un nivel bastante superior de precipitaciones en relación al promedio histórico para la región. Esto llevaría a pensar que pudieron ocurrir condiciones de estrés por exceso hídrico en las etapas iniciales del cultivo, sin embargo, como se verá más adelante, dadas las condiciones térmicas particulares del invierno 2010 las cuales fueron inferiores a las

registradas promedialmente, es posible esperar que las mismas contribuyeron a reducir el impacto de dicho estrés. Por otro lado, hacia el final de la primavera la situación hídrica se invierte, presentándose precipitaciones menores a las registradas en la media histórica. Según Hoffman et al. (2010), estas condiciones de estrés hídrico se tornan críticas para las variedades de ciclo largo; sin embargo, como la variedad utilizada en el ensayo (Don Alberto) presenta ciclo medio, es posible que dicho estrés no haya afectado notoriamente el desempeño de la misma.

A partir del mes de octubre las lluvias comenzaron a disminuir en relación a la media de la región, sin embargo, las precipitaciones de septiembre son de tal magnitud que se podría decir que la reserva de agua en el suelo fue suficiente para abastecer las necesidades hídricas en la etapa de llenado de grano de variedades de ciclo medio, como lo es Don Alberto.

En la figura 6 se observa el régimen térmico mínimo, máximo y promedio para el año 2010, así como también la media histórica de los últimos 30 años para la localidad de Paysandú.

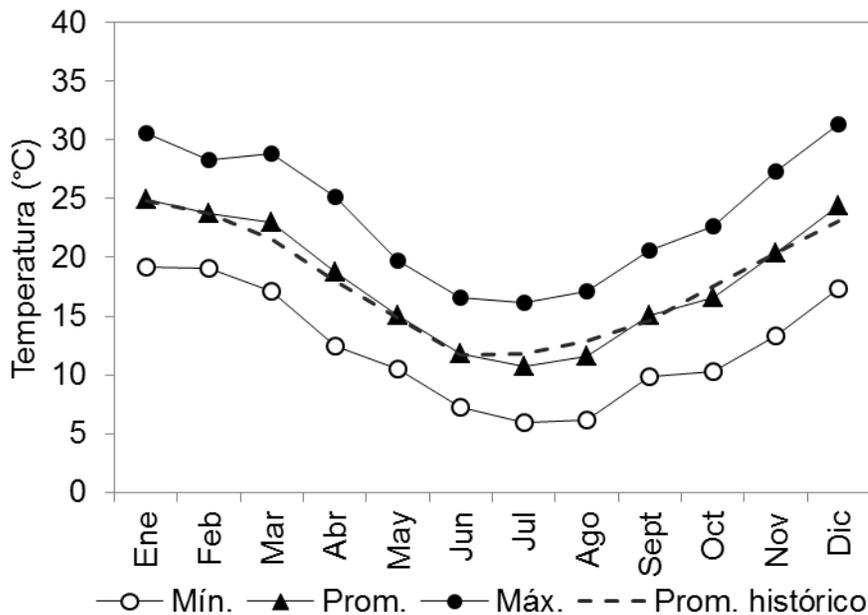


Figura 6. Temperatura promedio, mínima y máxima para el año 2010 y promedio histórico de los últimos 30 años para Paysandú. Fuente: Datos de la casilla meteorológica ubicada en la “Estación Experimental Mario A. Cassinoni” y régimen térmico promedio utilizado por INIA GRAS.

Como ya fue mencionado, los últimos dos meses de invierno presentaron temperaturas promedio por debajo de la temperatura media para Paysandú en ese período. Las bajas temperaturas registradas en invierno generaron un ambiente favorable para un elevado macollaje, así como también un bajo crecimiento inicial lo que se traduce en una menor competencia entre tallos, comparado con condiciones de crecimiento inicial normales. Según Hoffman et al. (2010), con esta situación dada, se establecieron las bases para la construcción de un alto nivel de producción de biomasa y por ende de rendimiento en grano.

4.4. RASTROJO EN SUPERFICIE

4.4.1. Cobertura del suelo – el rastrojo de maíz

Este ítem es considerado como uno de los más importantes de analizar ya que todo el ensayo radica en estudiar el efecto de retirar diferentes cantidades de rastrojo de maíz, intentando simular el retiro del mismo para la producción de energía a partir de la biomasa. La hipótesis es que al dejar diferentes cantidades de rastrojo, la producción del cultivo de invierno presentará niveles de producción distintos a los encontrados con una cantidad y período de rastrojo correctamente realizado o normal. Otro motivo para decir que este apartado presenta mayor relevancia, es que en el ensayo realizado la única diferencia entre la totalidad de las parcelas fue el tratamiento inicial al momento de cosechar el cultivo de maíz, en el cual como ya fue descrito, se plantearon dejar tres cantidades de rastrojo sobre la superficie. Por estas razones es que se intentara realizar un análisis en forma más profunda en lo que respecta a la variabilidad de los tratamientos.

En promedio, las cantidades de rastrojo variaron entre 1250 hasta 2590 $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para los tratamientos extremos independiente de la rotación agrícola de la que se tratase. En este sentido, la desviación estándar de esta variable presento valores absolutos más bajos para aquellos tratamientos en los que se dejaron mayores porcentajes de residuos (RR 0) y la más alta se encontraron en el tratamiento medio (RR 40) para el caso de la rotación agrícola 1, lo cual se puede observar en el cuadro 2, oponiéndose lo encontrado por Velásquez et al. (2002).

Los residuos presentes luego de la siembra estuvieron constituidos principalmente por restos de hojas, tallos y coronas de raíces de maíz. Los resultados muestran que, a pesar de distribuir uniformemente los residuos sobre el terreno después de la cosecha, éstos tuvieron gran variabilidad en el momento de los muestreos principalmente dentro de cada tratamiento, lo cual pudo suceder por arrastre del viento entre y dentro de las unidades experimentales durante el tiempo transcurrido después de la cosecha.

Cuadro 2. Cantidad de biomasa aérea promedio del rastrojo dejado en superficie y su porcentaje de cobertura para los diferentes tratamientos y secuencias agrícolas.

Rotación Agrícola	Retiro de Rastrojo (%)	Materia seca residuos (Kg*ha ⁻¹)	S [†]	Cobertura (%)	S [†]
1	0	2510 a	75	73	4
	40	2000 b	245	16	2
	80	1460 c	175	20	3
2	0	2170 a	350	61	7
	80	1770 a	450	19	4

[†]Desviación estándar. Análisis estadístico independiente para cada rotación agrícola, medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Como se observa en el cuadro anterior, los tratamientos correspondientes a la rotación agrícola 1 presentaron diferencias significativas al 5% entre si mientras que los presentes en la rotación agrícola 2 no difirieron estadísticamente al mismo porcentaje. La variabilidad entre los tratamientos en la rotación 1 fue baja (C.V. 9,07%), a diferencia de lo que ocurrió en la rotación agrícola 2 (C.V. 20,51%).

Por otro lado, los datos de cobertura obtenidos a partir de las correspondientes mediciones de campo, no resultaron muy coherentes o no fueron los esperados en relación a la definición de los tratamientos. Esto puede deberse a lo expuesto anteriormente en cuanto a la distribución de los residuos sobre las parcelas lo cual puede estar afectada por el arrastre del viento. Otra teoría que puede explicar estos resultados, y no debe descartarse es que al momento de realizar el muestreo la técnica no fue implementada correctamente. Por lo tanto se decidió descartar el dato de cobertura del suelo

por parte de los rastrojos y utilizar para todos los análisis, únicamente la cantidad de biomasa expresada como materia seca en superficie.

En la figura continúa se presenta y observa claramente la falta de correlación entre la cantidad de biomasa en superficie y los valores de cobertura del suelo.

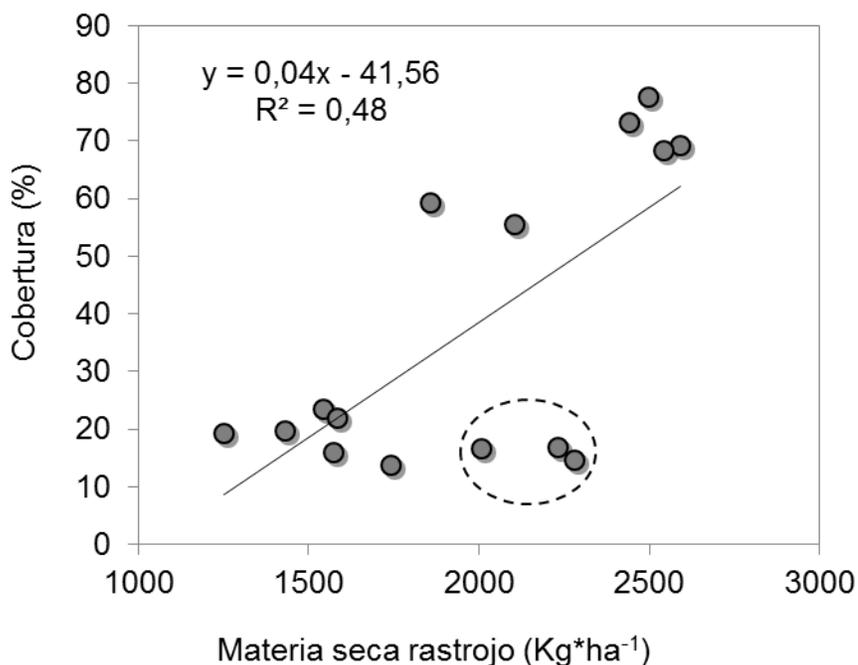


Figura 7. Relación entre biomasa de rastrojo sobre la superficie y el porcentaje de cobertura que representa.

Como es posible observar en la figura 7, no fue posible ajustar una regresión lineal adecuada aunque esta fue positiva, lo cual se observa en la dispersión de los puntos y en un bajo valor del coeficiente de regresión ($R^2 = 0,48$), sin embargo, si no se toman en cuenta los puntos que se apartan de la tendencia general y se ajusta nuevamente el modelo, el coeficiente de regresión aumenta a 0,85. Con esta información se afirma la decisión de descartar los datos de cobertura obtenidos y utilizar de aquí en más los de biomasa del rastrojo.

4.5. EVOLUCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE NITRATOS EN EL SUELO

Según la bibliografía consultada, algunos de los factores importantes a considerar cuando se retira la materia seca de la superficie del suelo son la composición química y la estructura del mismo. Si bien no es esperable encontrar cambios en el corto plazo en estas variables, en el mediano y largo plazo sí se podrían encontrar o esperar variaciones lo cual está dado principalmente por la dinámica de las variables. A pesar de esto último, en este trabajo se estudió en el corto plazo la evolución del contenido de nitrógeno como nitratos en los primeros 20 cm del suelo, con la finalidad de cuantificar el efecto en dos momentos donde la disponibilidad del nutriente en el suelo adquiere importancia en cereales de invierno para poder definir una correcta fertilización según los modelos de fertilización nitrogenada recomendada por facultad de agronomía y un momento intermedio entre ambos.

Los momentos donde se decidió muestrear el contenido de nitrato fueron a la siembra del cultivo de invierno, a la emergencia del mismo y finalmente cuando las plantas disponían de 2 macollos, según la escala Zadocks Z 22. El primer y último momento de muestreos además de evaluar la evolución del nitrógeno son utilizados para realizar recomendaciones de fertilización nitrogenada.

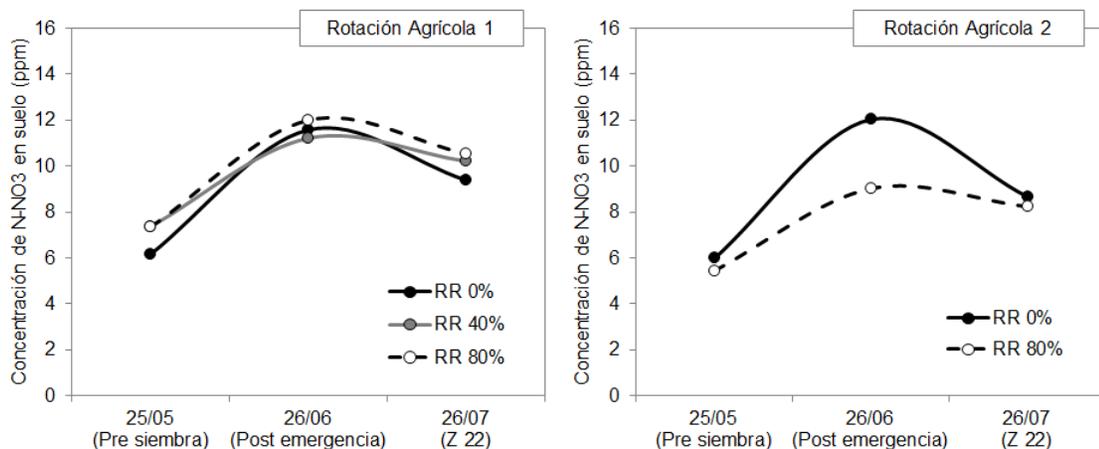


Figura 8. Evolución promedio de nitrógeno como nitrato en los primeros 20 cm de suelo para los diferentes momentos de muestreos, según cantidad de rastrojo retirado e independiente para cada rotación agrícola.

En ambas rotaciones agrícolas se observa niveles iniciales (siembra) bajos y similares del nutriente en el orden de 5 a 7 ppm de N-NO₃ independientemente al tratamiento del que se tratase. Posteriormente, en el segundo momento muestreado (emergencia) la concentración de nitrato alcanza un pico máximo del orden de 10,5 ppm y 11,6 ppm para RA 2 y RA 1 respectivamente, sin encontrarse diferencias significativas en ninguna de las rotaciones. Aunque es de destacar que en la RA 2 en este momento de muestreo se presenta una leve tendencia a diferenciarse los tratamientos pero permaneciendo la falta de diferencia estadística, logrando menores valores de nitrato en el tratamiento en donde se retiró el 80% del rastrojo de la superficie. Por otro lado, en la rotación agrícola 1 los valores encontrados en emergencia, son muy similares entre los tres tratamientos y a los resultados encontrados sin retiro de rastrojo en la RA 2. Por último, en el tercer momento muestreado, en el estadio Z 22 las concentraciones de nitrato muestran una caída en comparación al momento anterior (emergencia), permaneciendo la similitud de los valores entre los tratamientos dentro de una misma rotación agrícola. Sin embargo, las rotaciones se diferencian en la magnitud de la caída, por un lado en la RA 1 la caída es de 1,5 ppm obteniendo un valor promedio final de 10,1 ppm, mientras que en la RA 2 la magnitud de la caída en el contenido de nitratos en los primeros 20 centímetros del suelo es de 2,1 ppm logrando valores de 8,4 ppm en promedio.

En el siguiente cuadro se presentan, para cada una de las rotaciones agrícolas, las probabilidades de encontrar diferencia significativa entre los tratamientos de retiro de rastrojo para los tres momentos de muestreo de suelo, así como también sus correspondientes coeficientes de variación. En el mismo se observa que en ninguno de los casos se encontró diferencias estadísticas, como ya se mencionó en el análisis de la figura 8, y los coeficientes de variación son bastante altos.

Cuadro 3. Probabilidades y coeficientes de variación para el contenido de nitratos en los primeros 20 centímetros del suelo para los tres momentos de muestreo y particionado por RA.

N-NO ₃	RA 1			RA 2		
	Media	p-valor	C.V.	Media	p-valor	C.V.
Pre siembra (25/06)	7,0	0,661 (ns)	25,86	5,7	0,562 (ns)	18,18
Post emergencia (25/06)	11,6	0,923 (ns)	20,98	10,5	0,274 (ns)	27,94
Z 22 (26/07)	10,1	0,824 (ns)	22,99	8,4	0,848 (ns)	33,08

4.6. VARIABLES DETERMINANTES DEL NÚMERO DE ESPIGAS POR UNIDAD DE SUPERFICIE Y COMPONENTES DIRECTOS DEL RENDIMIENTO DE TRIGO

En los cuadros 5 y 7 se encuentran detallados los componentes del rendimiento del cultivo de trigo, para los tratamientos retiro de rastrojo y separados según rotación agrícola respectivamente. En el mismo se puede ver que en la rotación agrícola 1 las diferentes cantidades de rastrojo sobre la superficie del suelo producen efecto estadísticamente significativo sobre la implantación, provocando un menor número de plantas por unidad de superficie cuando es dejado todo el rastrojo del cultivo de maíz (RR 0%), lográndose la máxima implantación con un retiro de residuo del orden del 40% del total pero sin encontrarse diferencias significativas cuando se lo compara con el tratamiento que retira mayor cantidad de rastrojo (80%).

Cuadro 4. Variables determinantes del número de espigas por unidad de superficie para la rotación agrícola No. 1.

Retiro de Rastrojo	Población (pl*m⁻²)	Macollaje (Mac*m⁻²)	Macollos por planta	Fertilidad (%)
0	80 b	880 b	11	62
40	150 a	960 ab	7	61
80	130 a	1060 a	8	58
Media	121	966	9	60
P-valor	0,048	0,059	0.126	0.808
C.V. (%)	20,58	7,43	25,97	11,24
DMS (10%)	39,47	113,8	--	--

Cuando se observa el macollaje, al igual que en la implantación, se encuentran diferencias estadísticas con un alfa de 10% obteniéndose el mayor macollaje cuando se retira la mayor parte del rastrojo (RR 80%) pero sin diferenciarse del tratamiento medio (RR 40%). Según Hoffman et al. (2010), el macollaje por planta tiende a aumentar cuando la densidad de siembra o la implantación del cultivo disminuye, sin embargo la respuesta en el número de tallos a las plantas por metro cuadrado es de tipo cuadrática, dado que luego el mayor macollaje por planta no logra compensar la pérdida de plantas por unidad de superficie. En el caso de la rotación agrícola 1 y cuando se observan

las medias de los tratamientos, ocurre lo mismo ya que el macollaje máximo se da con el valor medio de las tres implantación (RR 80%).

Cuadro 5. Componentes directos del rendimiento de trigo para la rotación agrícola No. 1.

Retiro de Rastrojo	Espigas*m⁻²	Tamaño de espiga (granos*esp⁻¹)	Granos*m⁻²	PG (mg)
0	540	21	11312	36
40	582	21	11934	37
80	614	21	13080	38
Media	579	21	12109	37
P-valor	0,453	0,469	0,459	0,143
C.V. (%)	11,62	3,73	13,62	2,38
DMS (10%)	--	--	--	--

En lo que respecta a los restantes tres componentes del rendimiento, los mismos tienden a aumentar a medida que hay menor contenido de rastrojo en superficie lo cual se encuentra gobernado por la evolución del macollaje en las diferentes cantidades de retiro de rastrojo. Estos últimos tres componentes del rendimiento (espigas*m⁻², granos*m⁻² y PG) no presentaron diferencias significativas para un alfa de 10%.

En los siguientes cuadros se presentan las variables determinantes del número de espigas por unidad de superficie y los componentes del rendimiento para la rotación agrícola 2, en donde los tratamientos de retiro de rastrojo son solamente dos 0% y 80%.

Cuadro 6. Variables determinantes del número de espigas por unidad de superficie para la rotación agrícola No. 2.

Retiro de Rastrojo	Población (pl*m⁻²)	Macollaje (Mac*m⁻²)	Macollos por planta	Fertilidad (%)
0	90	813	10	62
80	120	846	7	65
Media	109	830	9	64
P-valor	0368	0,843	0,254	0,740
C.V. (%)	34,87	22,66	36,59	16,44
DMS (10%)	--	--	--	--

En esta rotación a pesar de que solo se encuentran los tratamientos extremos de retiro de rastrojo (contrastantes), no se encontró diferencias estadísticas para ninguno de los componentes del rendimiento. Sin embargo, a pesar de no encontrarse diferencias significativas, es clara la tendencia en obtener resultados mayores en la mayoría de las variables a favor del tratamiento que deja menor cantidad de residuos sobre la superficie, a excepción de la variable peso de grano la cual no se vio modificada por los tratamientos.

Cuadro 7. Componentes directos del rendimiento de trigo para la rotación agrícola No. 2.

Retiro de Rastrojo	Espigas*m⁻²	Tamaño de espiga (granos*esp⁻¹)	Granos*m⁻²	PG (mg)
0	521	22	11321	36
80	543	21	11577	36
Media	532	22	11449	36
P-valor	0,869	0,563	0,924	0,898
C.V. (%)	28,84	5,99	27,13	2,5
DMS (10%)	--	--	--	--

Algo de destacar es que todos los coeficientes de variación de las diferentes variables son mayores en la rotación 2 que en la 1, lo cual significa en esta última que las parcelas son más homogéneas, lo que en parte explica la existencia de diferencias significativas en la rotación agrícola 1 y no en la 2.

En los ítems que figuran a continuación se analiza en profundidad cada una de las variables que componen el rendimiento.

4.6.1. Efecto retiro de rastrojo sobre la población

Uno de los objetivos de este trabajo fue evaluar el impacto del retiro de rastrojo en tres cantidades, sobre la implantación del cultivo de trigo. En principio, en teoría y basándose en la bibliografía consultada, se esperaría que a medida que hay menor cantidad de rastrojo en la superficie del suelo la implantación tendería a aumentar ya que en el caso opuesto el rastrojo actuaría como un impedimento para colocar la semilla en la profundidad deseada y posteriormente dificultaría la emergencia de las plántulas imponiendo una barrera física para las mismas. Sin embargo, no todo lo referido al rastrojo en

superficie es perjudicial ya que también presenta un cumulo de ventajas para los cultivos tanto en el corto como mediano y largo plazo. En el corto plazo permitiría una mayor acumulación de agua en el suelo a través de la disminución de las pérdidas sea por evaporación o escurrimiento, pero sin embargo potencia los efectos de posibles heladas ocurridas en esta etapa tan importante del cultivo. Por otro lado, en el mediano y largo plazo favorece la dinámica de la materia orgánica y por lo tanto la de los diferentes nutrientes del suelo, además de reducir las pérdidas de suelo por erosión.

Según la caracterización de cultivares de trigo 2006 realizada en la EEMAC, la variedad Don Alberto presentó una implantación promedio de 110 pl*m⁻², lográndose los mayores resultados en cuanto a rendimiento por hectárea con una densidad de siembra equivalente a las 30 - 35 plantas por metro lineal, ya que se presenta como un cultivar muy equilibrado en su capacidad de macollaje (Hoffman et al., 2006).

A continuación se presentan las diferentes poblaciones logradas con los distintos tratamientos.

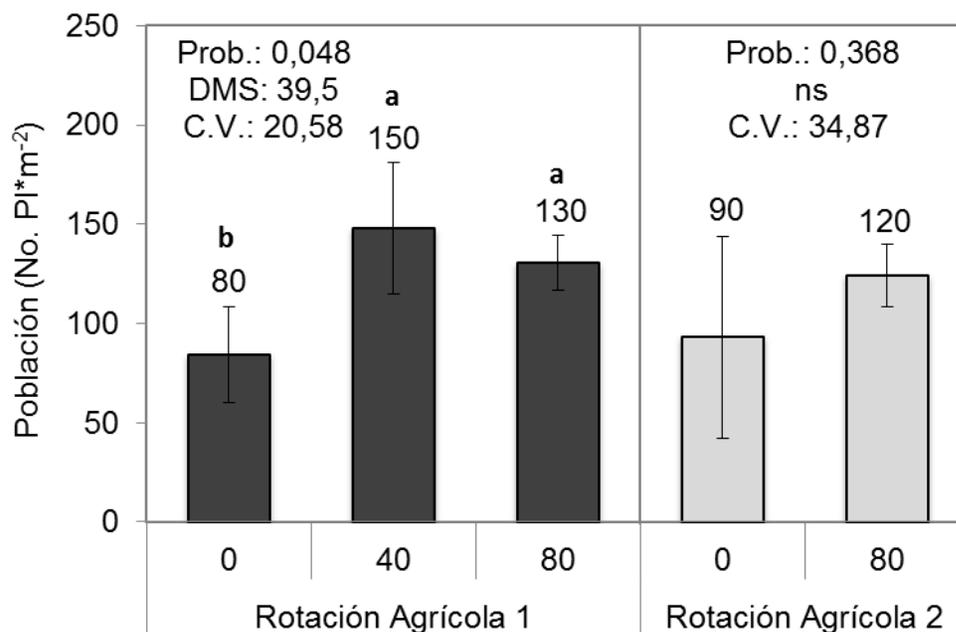


Figura 9. Número de plantas por metro cuadrado en función de la cantidad de rastrojo expresada como porcentaje del total, según rotación agrícola. Las barras indican los desvíos respecto a la media de cada tratamiento. LSD

Fisher- medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,10$).

En el gráfico se puede observar cómo era esperado cuando todo el rastrojo del cultivo anterior es dejado sobre la superficie, se logra la menor implantación por parte del cultivo de invierno lo cual se da en ambas rotaciones agrícolas. Por otro lado, la máxima implantación lograda en RA 1 se observa en el tratamiento que deja la mitad del rastrojo (RR 40%), aunque la comparación de medias utilizando test de Fisher al 10% no encontró diferencias significativas respecto al tratamiento que retira el 80 %. Con esto último se podría pensar que una cantidad de rastrojo sobre el suelo, equivalente al 60% del total es suficiente para lograr una más eficiente implantación y de esta forma mayor probabilidad de obtener rendimientos superiores, ya que dadas las características agronómicas de la variedad implicada (Don Alberto), la misma responde a incrementos en la densidad de siembra o su equivalente en aumentos en plantas logradas por unidad de superficie hasta un máximo de $40 \text{ pl} \cdot \text{m}^{-1}$ o $250 \text{ pl} \cdot \text{m}^{-2}$, (Hoffman et al., 2010).

Como se menciona anteriormente, el tratamiento que no retira rastrojo presenta las menores implantaciones, encontrándose diferencias estadísticas para el caso de la secuencia agrícola 1 pero no así para la número 2, lo cual puede estar explicado por la dispersión de los datos del tratamiento RR – 0 de la RA 2. De la misma manera y para agregar datos que afirmen lo anterior, a través del análisis de varianza particionado por rotación agrícola se encontró que el coeficiente de variación es de 20,6% para RA 1 y de 34,9 % para el caso de RA 2, lo cual establece que en la RA 2 existe mayor heterogeneidad en los resultados de implantación definidos por cantidad de retiro de rastrojo.

Con la ayuda de la figura 9 se estudió el efecto que presentan distintas cantidades de rastrojo en la superficie del suelo sobre la implantación del cultivo de trigo considerando la rotación agrícola. El análisis anterior se realizó particionado los tratamientos según rotación agrícola lo cual no permite evaluar el efecto interacción entre los factores, además de disminuir el valor de n de cada tratamiento RR. Por esto, a continuación se presenta un análisis desactivando el tratamiento definido como adicional (RR 40%), con lo que es posible estudiar la existencia o no de interacción entre los factores evaluados respecto a su efecto sobre la variable implantación. Para esto se utilizó la

herramienta desactivar tratamientos del software InfoStat, y la comparación de medias se efectuó a través del test LSD de Fisher al 10%.

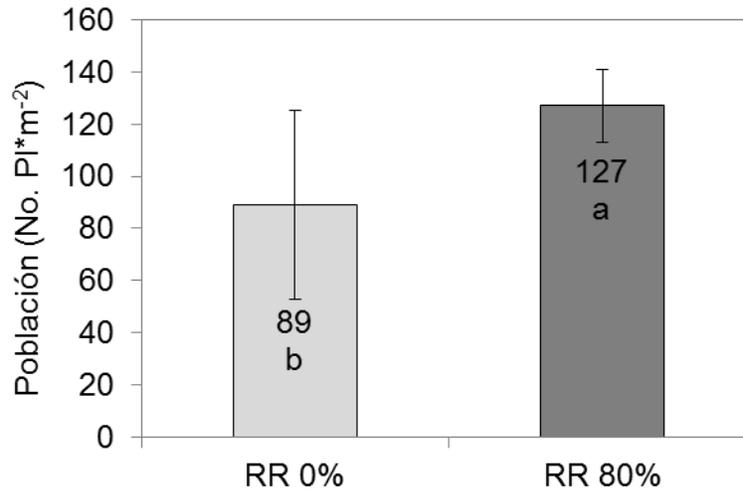


Figura 10. Implantación del cultivo de trigo en función de los tratamientos extremos de retiro de rastrojo de maíz, independientemente de la rotación agrícola. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes al ($p \leq 0,10$), test LSD de Fisher.

Cuando se desactivó el tratamiento adicional (RR – 40) y por ende se pudo estudiar el efecto de la interacción entre los factores (rotación agrícola con retiro de rastrojo) en la implantación del cultivo de trigo, pero solo considerando los tratamientos de retiro de rastrojo 0% y 80%, no se encontró interacción con probabilidad 0,68 y coeficiente de variación del orden de 27,89% (figura 11). De la misma manera, no se encontró diferencia significativa para la misma variable bajo el efecto único del factor rotación agrícola (prob.: 0,94). Sin embargo, como ocurrió cuando se analizó el efecto del retiro de rastrojo pero particionado por rotación agrícola, se encontró diferencia significativa estadísticamente para un alfa de 0,10 y con una DMS de 32,33 pl*m⁻² utilizando test LSD de Fisher cuando se compararon los retiros de rastrojo 0% y 80% independientemente de la rotación agrícola de la que se tratase, lo cual se puede observar en la figura 10.

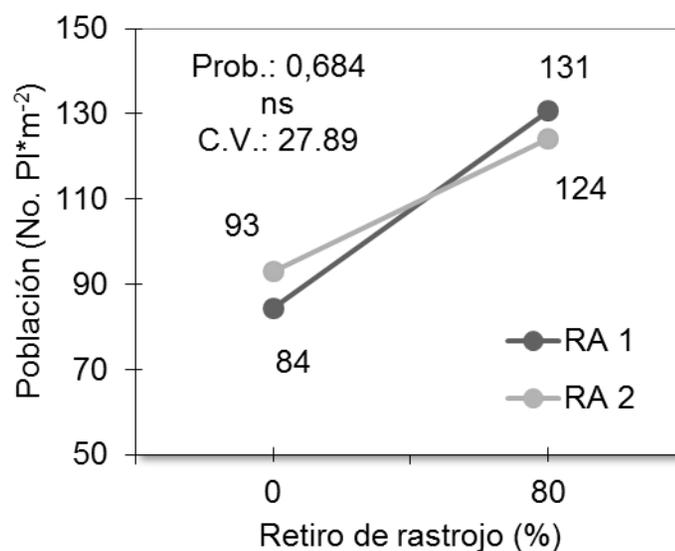


Figura 11. Interacción entre rotación agrícola y retiro de rastrojo para la variable implantación lograda en el cultivo de trigo medida como No. de plantas*m⁻².

En la figura anterior se presenta la falta de interacción significativa estadísticamente entre los factores retiro de rastrojo y rotación agrícola evaluando su efecto para la variable implantación del cultivo de trigo. En la misma se observa que existe una leve interacción con cambio de ranking entre los factores evaluados, pero la misma no presenta diferencia estadística.

Por último, cuando se grafica la relación entre implantación lograda y contenido de materia seca del rastrojo en superficie se puede observar que el coeficiente r^2 es muy bajo (0,13) lo cual está dado por dos observaciones que se comportan como outliers respecto a las demás. Sin embargo la curva de tendencia demuestra lo esperado según la teoría; a medida que aumenta la materia seca del rastrojo sobre la superficie la implantación o número de plantas logradas tiende a ser menor (figura 12).

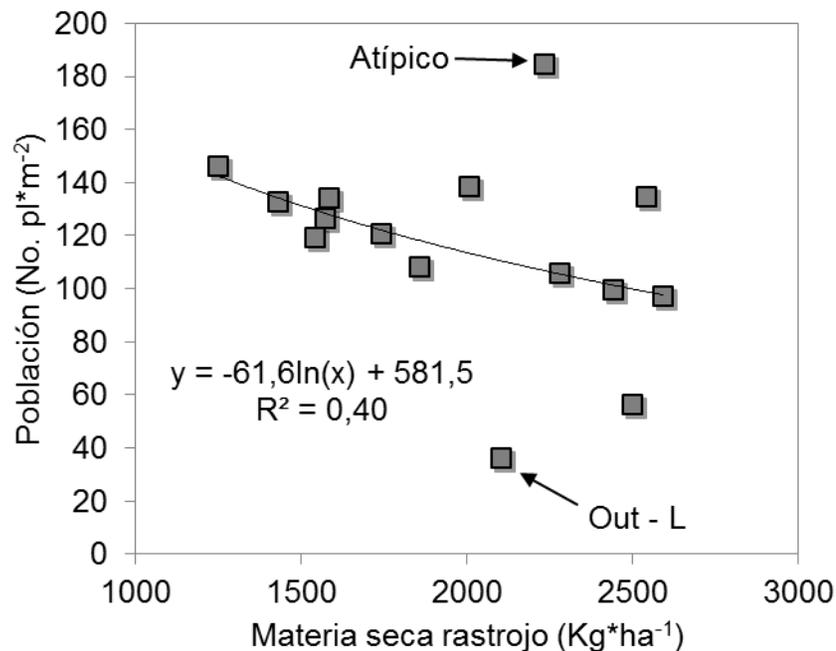


Figura 12. Relación entre el número de plantas por metro cuadrado y la materia seca del rastrojo sobre la superficie del suelo expresada como Kg*ha⁻¹.

La curva que mejor se ajusta a la relación entre implantación y materia seca del rastrojo, aunque con muy bajo coeficiente de regresión, corresponde a un modelo polinómico de segundo orden con función $Y=0,00002x^2-0,0973x+236,66$. Sin embargo, cuando se anulan los puntos outliers, la curva que mejor se ajusta corresponde a un modelo logarítmico. A pesar de que el modelo se ajusta mejor cuando se anulan los puntos outliers, el coeficiente de regresión continúa siendo bajo aunque mayor al obtenido con el ajuste del modelo incluyendo los puntos problema.

Por otro lado, en ambos modelos propuestos, la curva demuestra una tendencia que a medida que hay mayor cantidad de rastrojo en superficie la implantación comienza a descender lográndose menor número de plantas por unidad de superficie.

4.6.2. Efecto retiro de rastrojo sobre el macollaje

Como fue estudiado en el ítem anterior, el número de plantas logradas por unidad de superficie es afectado por la presencia de rastrojo del cultivo

anterior inmediato que es dejado sobre el suelo, obteniéndose menor implantación en la medida que existió mayor cantidad de materia seca del rastrojo en superficie.

Cuando la densidad de plantas del cultivo de trigo es menor, se espera que el macollaje (No. de macollos por planta) tienda a aumentar (pero no indefinidamente) con lo cual se compensa la perdida de plantas hasta cierto punto, lo cual ocurre en general para la mayoría de las variedades, aunque es importante recordar que la variedad Don Alberto tiene elevada capacidad de macollaje y la misma es muy equilibrada en ambientes desfavorables para este proceso (mayor temperatura). El macollaje promedio para esta variedad fue de 924 macollos*m⁻² a Z30 según la caracterización del material en el año 2006 (Hoffman et al., 2006).

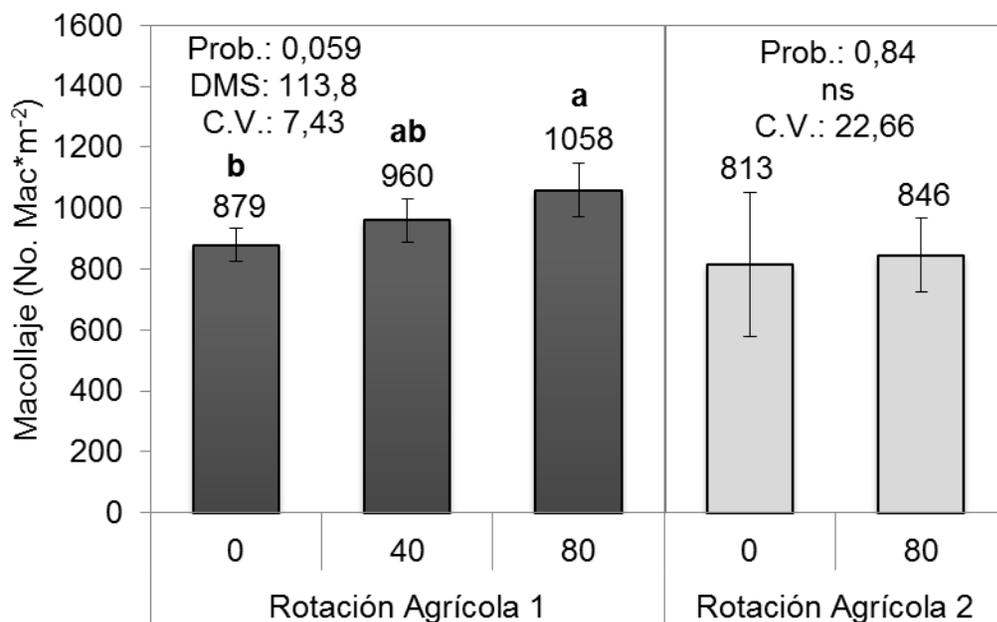


Figura 13. Número de macollos por metro cuadrado en función de las diferentes cantidades de retiro de rastrojo expresadas en porcentaje, para ambas rotaciones agrícolas. Las barras indican los desvíos respecto a cada media. Para una misma RA, medias con igual letra no difieren estadísticamente al 10% según test LSD Fisher.

El análisis estadístico debe ser observado para cada rotación agrícola independientemente de la otra, ya que el mismo es realizado particionando los datos por rotación agrícola.

La RA 1 presento una probabilidad de 0,059 lo que significa que los tratamientos presentan diferencia significativa al 10% a favor del tratamiento RR 80% y 40% los cuales no presentaron diferencias entre ellos. Con un mayor número de tallos por unidad de superficie se tendería a pensar que el número de espigas por unidad de superficie también será mayor, sin embargo es preciso estudiar el efecto sobre la fertilidad de dichos tallos.

En el caso de la RA 2 no se encontraron diferencias entre los dos tratamientos pero existió una tendencia a aumentar el macollaje cuando se retiró la mayor parte del rastrojo. La no presencia de diferencia significativa en esta rotación puede estar explicada en parte por los desvíos observados en el tratamiento RR 0%.

El número de macollos por metro cuadrado influye sobre la fertilidad de los mismos y por ende en la capacidad de espigar, sin embargo existe otra variable, el macollaje por planta, que también provoca cambios en la fertilidad. La primera define la fertilidad dada por la competencia entre plantas y la segunda variable por la competencia entre tallos de una misma planta.

Por esto último, en la próxima figura se presenta el comportamiento del macollaje promedio dado en cada planta según cantidad de retiro de rastrojo y particionado por rotación agrícola.

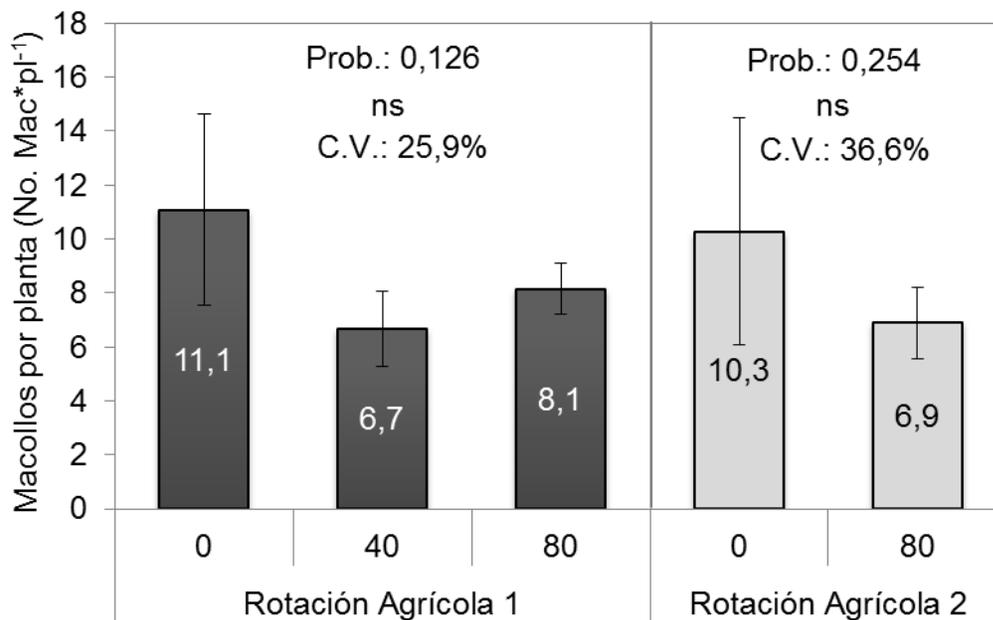


Figura 14. Número de macollos por planta en función de las diferentes cantidades de retiro de rastrojo expresadas en porcentaje, para ambas rotaciones agrícolas. Las barras indican los desvíos respecto a cada media.

Como es posible observar en el gráfico, el macollaje por planta evoluciono como era esperado teóricamente. En aquellas parcelas donde se obtuvo menor número de plantas por unidad de superficie, la variable macollaje por planta fue mayor que en las parcelas donde se obtuvo mayor implantación, esto es porque cuando hay menor número de plantas por unidad de superficie la competencia entre plantas es menor, con lo cual tiende a aumentar el macollaje.

Dado que los tratamientos que retiraban rastrojo (RR40% y RR 80%) obtuvieron como resultado mayor implantación, en los mismos el macollaje por planta fue menor que en el testigo aunque sin presentar diferencias estadísticas en ninguna de las dos rotaciones.

4.6.3. Efecto retiro de rastrojo sobre la fertilidad de los tallos

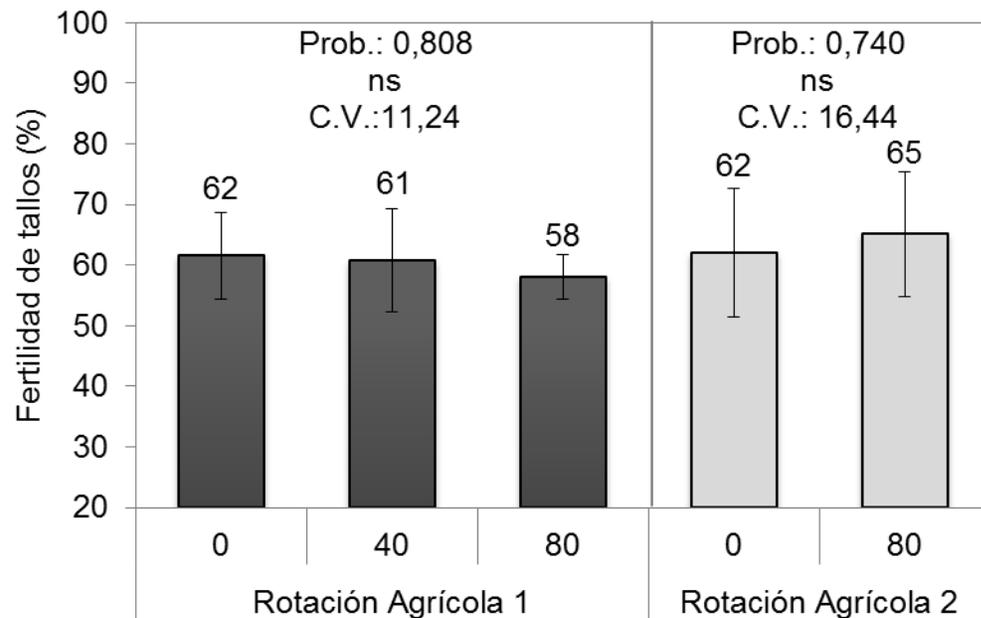


Figura 15. Fertilidad de tallos en función de las diferentes cantidades de retiro de rastrojo expresadas en porcentaje, para ambas rotaciones agrícolas. Las barras indican los desvíos de cada media.

Hoffman et al. (2006) en la caracterización de la variedad (Don Alberto) afirman que frente a diferentes poblaciones de plantas por unidad de superficie, la fertilidad no presenta variaciones notorias por lo tanto esta variable no explica las variaciones en el rendimiento. Confirmando lo encontrado por el autor, la variable fertilidad de tallos en las plantas de trigo no presentó diferencias estadísticas, con coeficientes de variación bajos del orden de 11,24% y 16,44% para la RA 1 y RA 2 respectivamente.

Al igual que en todas las variables anteriormente analizadas, el coeficiente de variación y los desvíos siempre son mayores en la rotación agrícola 2 que en la 1.

A pesar de no encontrarse diferencias en la fertilidad entre las distintas cantidades de retiro de rastrojo, se puede observar en la RA 1 una leve tendencia a la disminución de la misma a medida que el rastrojo en superficie es menor lo cual puede estar explicado por una mayor competencia dada por mayor número de plantas y macollos por unidad de superficie.

4.6.4. Efecto retiro de rastrojo sobre la espigazón

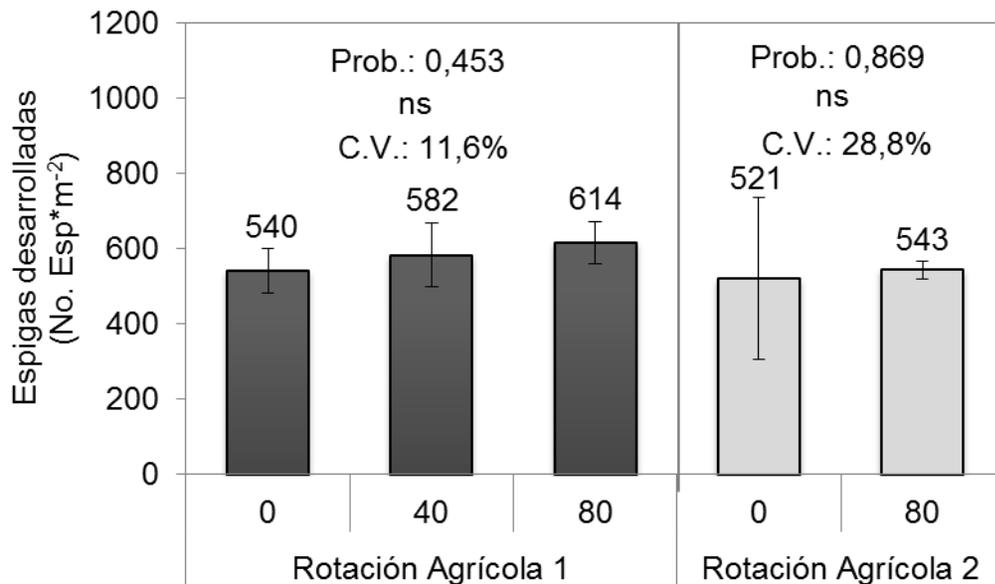


Figura 16. Número de espigas por metro cuadrado en función de las diferentes cantidades de retiro de rastrojo expresadas en porcentaje, para ambas rotaciones agrícolas. Las barras indican los desvíos de cada media.

Si bien el macollaje presenta diferencias estadísticas en la RA 1 obteniéndose mayor número de macollos por unidad de superficie a medida que hay menor contenido de rastrojo sobre el suelo, las espigas desarrolladas en la misma superficie no se diferencian entre los tratamientos, presentando una tendencia similar a la del macollaje. Esta falta de diferencia estadística esta explicada por la disminución observada en la fertilidad cuando se retira mayor cantidad de rastrojo, lo cual fue explicada por la mayor competencia en la planta cuando aumenta el macollaje.

Al igual que en todas las variables anteriormente analizadas, el coeficiente de variación en la variable espigas*m⁻² presenta mayor valor absoluto en la rotación agrícola 2 en comparación a la 1. Esto está dado principalmente por la dispersión (heterogeneidad) de los resultados en el tratamiento que deja la totalidad del rastrojo en la superficie del suelo (RR 0%).

4.6.5. Efecto retiro de rastrojo sobre el tamaño de espiga y el peso de los granos

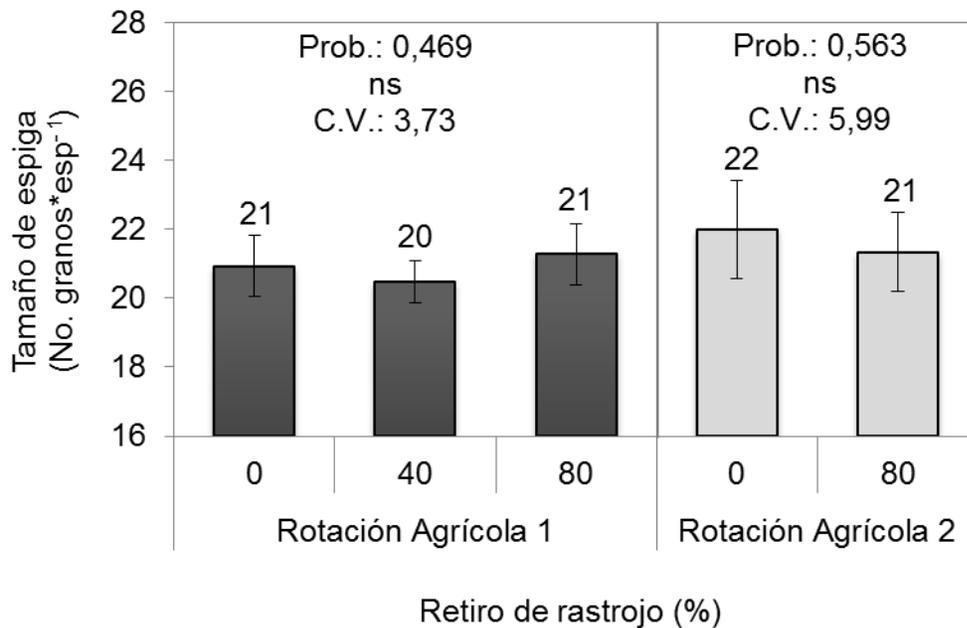


Figura 17. Tamaño de espiga en función de las diferentes cantidades de retiro de rastrojo según rotación agrícola. Las barras indican los desvíos respectivos de cada media de tratamiento.

Esta variable no presentó diferencia estadística en ninguna de las dos rotaciones agrícolas, así como tampoco se observa tendencia a diferencia de las variables anteriormente analizadas. El promedio del tamaño de espiga en la rotación agrícola 1 fue de 20,9 y levemente mayor en la rotación agrícola 2 alcanzando un valor de 21,7 granos*espigas⁻¹. De la misma manera, la RA 2 presentó valores mayores de desvíos (1,29) respecto a la media que la RA 1 que obtuvo 0,77 en promedio. Es de destacar que el coeficiente de variación de la RA 2 es 60,6% mayor que el de la RA 1 como en la mayor parte de las variables estudiadas.

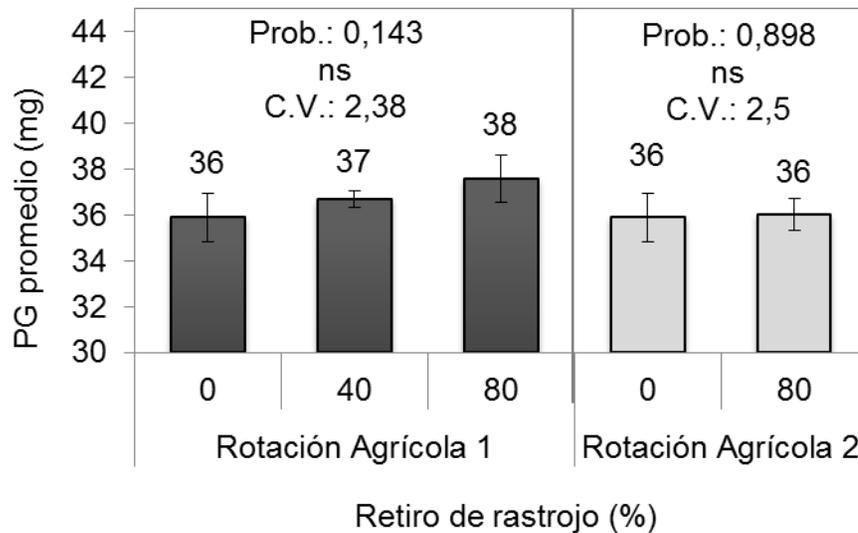


Figura 18. Peso de grano expresado en mg en función del retiro de rastrojo, según rotación agrícola. Las barras indican los desvíos respecto a las medias de los tratamientos.

Como ya fue presentado en los cuadros 5 y 7, el peso de grano no se vio afectado por las distintas cantidades de rastrojo en superficie ni por la rotación agrícola ni así por la interacción de ambos factores. Sin embargo, a diferencia de la variable anterior (tamaño de espiga) y al igual que la implantación, macollaje y número de espigas por metro cuadrado, el peso de grano presenta una leve tendencia a ser mayor a medida que se deja menor cantidad de materia seca de rastrojo en superficie.

4.7. RELACIÓN ENTRE BIOMASA TOTAL A COSECHA Y RENDIMIENTO EN GRANO

En la figura 19 se observa que con las distintas cantidades de rastrojo no se vio afectado el comportamiento esperado o teórico, en la relación biomasa total a cosecha y el rendimiento corregido por humedad de grano. Si bien el mejor ajuste se obtiene con un modelo potencial, la tendencia es lineal y su ajuste es muy similar al presentado, observándose un punto extremo que se aleja del conjunto de puntos pero que mantiene la tendencia. La relación entre biomasa total y rendimiento fue positiva y muy alta en el ajuste lineal ($R^2=0,99$).

Para las condiciones climáticas del año en las que se realizó el ensayo, más biomasa total producida se tradujo en mayor rendimiento obtenido, lo cual se encuentra explicado por la baja relación entre el índice de cosecha y la biomasa total a cosecha ($R^2=0,06$) o dicho de otra manera, la reducción en el índice de cosecha no fue proporcional al aumento en la biomasa total.

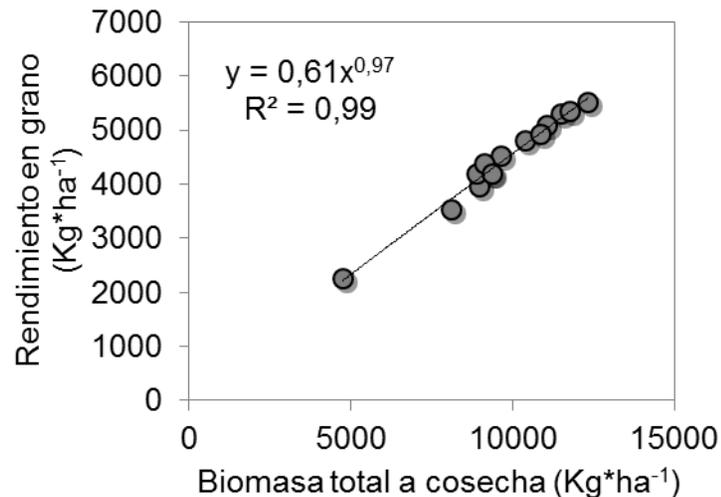


Figura 19. Relación entre el rendimiento promedio corregido por humedad del grano y la biomasa total a cosecha, independiente del tratamiento.

Para las condiciones de crecimientos y concreción de potencial dadas, en los dos siguientes cuadros (cuadro 8 y 9) se presentan la biomasa total a cosecha, el índice de cosecha y el rendimiento corregido a 14% de humedad en grano, para cada tratamiento y separado por rotación agrícola.

Cuadro 8. Rendimiento, biomasa total e índice de cosecha para cada tratamiento de retiro de rastrojo en la rotación agrícola 1.

Retiro de rastrojo (%)	Biomasa total (Mg*ha ⁻¹)	Índice de cosecha (%)	Rendimiento (Mg*ha ⁻¹)
0	9,17	40,8	4,17
40	9,95	40,4	4,48
80	11,02	41,2	5,03
Media	10,05	40,8	4,56
Probabilidad	0,29 (ns)	0,58 (ns)	0,30 (ns)
C.V. (%)	12,8	3,1	13,6

Cuadro 9. Rendimiento, biomasa total e índice de cosecha para cada tratamiento de retiro de rastrojo en la rotación agrícola 2.

Retiro de rastrojo (%)	Biomasa total (Mg*ha ⁻¹)	Índice de cosecha (%)	Rendimiento (Mg*ha ⁻¹)
0	9,13	41,4	4,18
80	9,13	41,9	4,26
Media	9,13	41,6	4,22
Probabilidad	> 0,99 (ns)	0,56 (ns)	0,93 (ns)
C.V. (%)	29,7	3,1	28,3

El índice de cosecha promedio fue de 41 % para el conjunto de tratamientos y no se encontraron diferencias estadísticas entre los mismos, presentando una probabilidad del orden de 0,578 y 0,561 para RA 1 y RA 2 respectivamente con coeficientes de variación de 3,17 % para el primer caso y 3,10 % para el segundo. Dado que el índice de cosecha no presentó grandes variaciones, la única variable que ejerció efecto sobre la variación en el rendimiento obtenido fue la biomasa total a cosecha. Si bien la variación en rendimiento no presentó diferencias estadísticas, se puede observar en ambas rotaciones la existencia de una leve tendencia a obtener mayores rendimientos cuando se dejó menor cantidad de rastrojo en superficie. Esta tendencia, en el caso de la rotación 1, se encontró dada fundamentalmente por la variación encontrada en el número de plantas por metro cuadrado y por el macollaje en la misma superficie (ambos componentes del rendimiento en el cultivo de trigo), lo cual fue analizado en el cuadro 4. Por el contrario, en la rotación agrícola 2, no se registraron diferencias significativas en estas variables que definen el rendimiento (cuadro 6), por lo que no se puede afirmar que la tendencia encontrada en el rendimiento está definida por las mismas variables que en la rotación 1.

En promedio el rendimiento medio de la RA 1 fue 344 Kg*ha⁻¹ mayor que el rendimiento de la RA 2, lo cual de cierta manera se encuentra explicado por la biomasa total a cosecha y no tanto por el índice de cosecha. Esto es porque la diferencia entre las biomásas promedio de cada rotación tuvo mayor incidencia sobre el rendimiento por efecto magnitud en comparación al índice de cosecha, el cual frente a las rotaciones agrícolas se comportó de forma inversa a la biomasa y la magnitud de la diferencia es mucho menor. Tomando

como referencia la RA 1, el cambio en la biomasa total (RA 1/RA 2) es de 1,10 mientras que la magnitud del cambio en el índice de cosecha (RA 1/RA 2) es de 0,98 con lo cual en parte se explica el mayor efecto de la primer variable sobre el rendimiento en grano.

4.8. RENDIMIENTOS OBTENIDOS EN LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS

Según la caracterización de la variedad (Don Alberto) realizada por Hoffman et al. (2010), la base de los rendimientos inferiores en bajas poblaciones o número de plantas logradas como es el caso de los tratamientos con 0% de retiro de rastrojo en este ensayo; es consecuencia de un menor número de granos por metro cuadrado lo cual está dado por la obtención de menos espigas en la misma superficie ya que no ocurren cambios en el rendimiento por espigas (número de granos por espigas y peso de los mismos).

En el trabajo en estudio ni el tamaño de espigas ni el peso de los granos presentaron diferencias estadísticas en ninguna de las dos rotaciones agrícolas (cuadro 5 y 7) lo cual coincide con lo encontrado por Hoffman et al. (2010), sin embargo en contraposición a lo encontrado por este autor el número de espigas por metro cuadrado tampoco presento diferencias entre los tratamientos que obtuvieron diferente implantación, por lo que no se esperaría encontrar diferencias en los rendimientos entre tratamientos.

En la figura 20, para condiciones sin deficiencia hídrica hasta octubre como las del 2010, se observa la falta de diferencias estadísticas en los rendimientos tal como fue previsto según el comportamiento de las variables que componen el rendimiento. Por otro lado es preciso reiterar como ya fue expuesto, que estos resultados en los rendimientos fueron obtenidos solamente en un año de evaluación de retiro de rastrojo, por lo que es esperable que únicamente se afecte la implantación del cultivo de trigo ya que la alteración de las propiedades del suelo, las cuales producen un efecto importante en los rendimientos, podrían ser afectadas en el largo plazo si esta tecnología de producción fuera continua en el tiempo y espacio. Por esto último es necesario seguir evaluando esta práctica agrícola por más años y observar el efecto acumulado sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo.

El mayor coeficiente de variación que presentó la rotación agrícola 2 registrado en las variables hasta ahora presentadas también se pudo notar en el rendimiento, y de igual forma persistió la tendencia a aumentar los kilogramos

de grano por hectárea a medida que se retira mayor cantidad de rastrojo de maíz.

Seguramente no se reportaron diferencias estadísticas por la gran heterogeneidad presente dentro de cada uno de los tratamientos lo que se puede apreciar en los valores de los coeficientes de variación principalmente en la rotación agrícola 2 y en las magnitudes de los desvíos.

Los resultados de este trabajo coinciden con lo encontrado por Longeri et al. (2001), el cual afirma que bajo condiciones de suficiencia hídrica no se reportan mayores o menores rendimientos cuando se retira o deja el rastrojo en superficie. Sin embargo este autor encontró que bajo deficiencia hídrica los rendimientos se ven favorecidos cuando es dejada la totalidad del rastrojo del cultivo anterior al trigo.

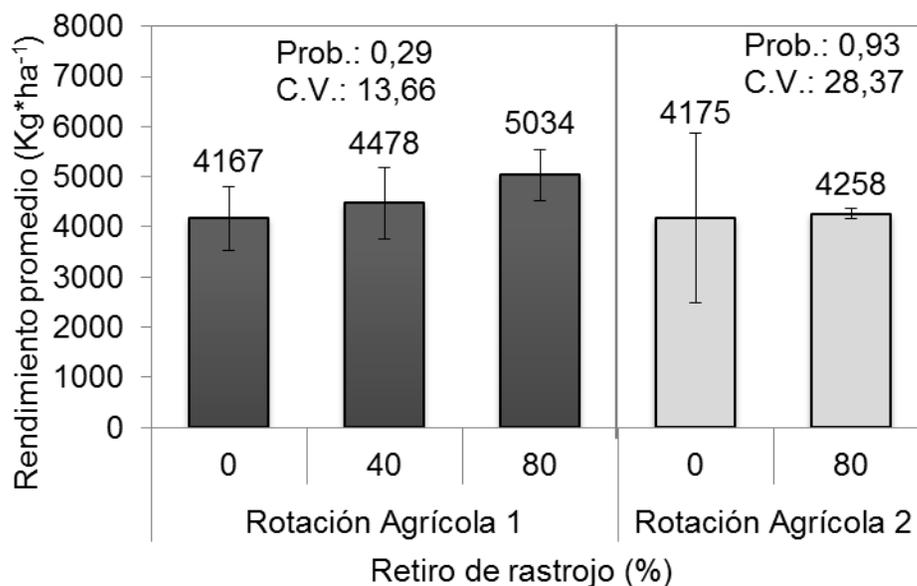


Figura 20. Rendimiento promedio corregido a 14% de humedad según rotación agrícola y para cada tratamiento de retiro de rastrojo. Las barras indican los desvíos de los tratamientos.

4.9. VARIACIÓN EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS (PESO HECTOLÍTRICO)

La única propiedad física evaluada en este ensayo fue el peso hectolítrico de los granos. Más allá de que el contenido de proteína en grano es una propiedad química y no debería ir dentro de este ítem, es importante

aclarar que esta variable no se pudo cuantificar ya que las muestras de grano almacenadas para este fin se perdieron por un ataque de gorgojos que no fue posible evitar.

La figura 21 muestra la variación encontrada en el peso hectolítrico y los coeficientes de variación del mismo, para las dos rotaciones agrícolas. Persiste la tendencia de encontrar mayor heterogeneidad (mayor C.V.) en la rotación agrícola 2 en comparación a la rotación 1, al igual que todas las variables anteriormente analizadas.

En RA 2 a pesar de no encontrar diferencia significativa, continúa observándose la tendencia a obtener mayor magnitud de la variable, en este caso peso hectolítrico, cuando el 80% del rastrojo fue retirado de la superficie. Sin embargo, en este caso la RA 1 no demuestra dicha tendencia, pero copia el mismo comportamiento que el número de plantas por unidad de superficie (figura 9). En esta rotación el tratamiento 40% RR fue quien presento mayor peso hectolítrico sin diferenciarse estadísticamente del tratamiento 80 % RR que en promedio fue levemente inferior pero con bastante mayor desvío estándar. Ambos se diferenciaron al 1% estadísticamente del tratamiento que no retiró rastrojo de la superficie.

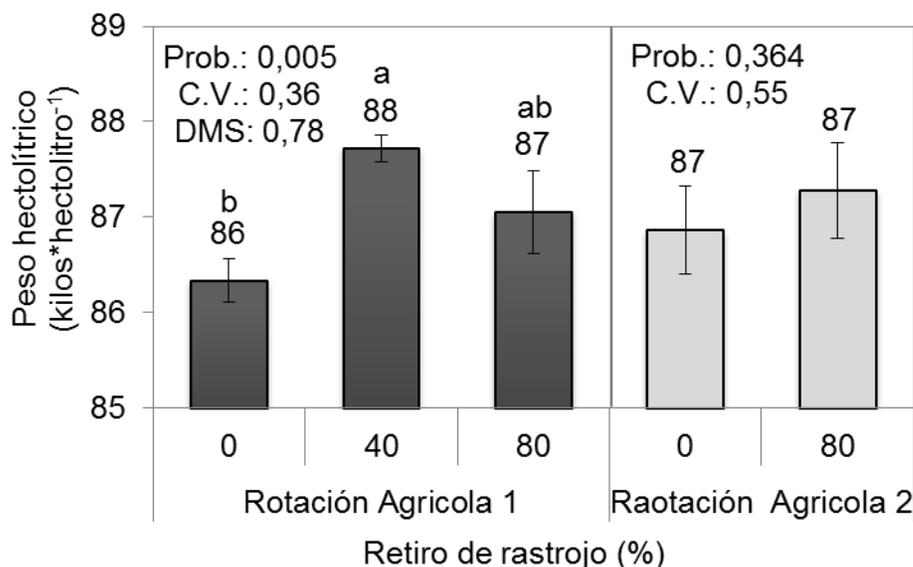


Figura 21. Peso hectolitrico en función del porcentaje de retiro de rastrojo según rotación agrícola. Las barras indican los desvíos respecto a la media. Letras distintas indican diferencia en test de Tukey al 5%.

5. CONCLUSIONES

En el corto plazo, la evolución del contenido de nitrógeno (nitratos) no presentó diferencias frente a las diferentes cantidades de rastrojo como tampoco en las rotaciones evaluadas.

Las principales variables que se vieron afectadas por el retiro de rastrojo, fueron la población y el macollaje del trigo, sin encontrarse interacción con la rotación agrícola.

La implantación fue afectada por la cantidad de residuos de cosecha que se encuentra sobre la superficie del suelo. Con retiros del orden de 40% se logró obtener la mayor implantación para estas condiciones sin registrar mayores resultados con retiros mayores. Sin embargo para la variable macollos por metro cuadrado, con retiros de 80% de residuos se logró el mayor número de estos (1060 macollos) siendo significativo con 0% retiro.

No se encontró respuesta en rendimiento, tanto para las variables de retiro de residuos como las rotaciones evaluadas. El número de espigas y granos por metro cuadrado y el peso de los granos presentaron la misma tendencia que el macollaje, (menor rastrojo significó mayor valor de la variable), sin embargo estas variables no presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados ni interacción con la rotación agrícola.

El peso hectolítrico fue afectado sensiblemente por modificación en el contenido de rastrojo dentro de la rotación 1, registrándose los valores más altos cuando se retiró el 40% del residuo al igual que la implantación.

En el segundo año de inicio del experimento de evaluación de retiro de rastrojo, es esperable que solo se afecte la implantación de los cultivos y alguna propiedad química (nitratos) de corto plazo por un efecto directo del mismo. Por el contrario, las propiedades físico químicas del suelo (carbono orgánico, nitrógeno total, densidad aparente, etc.), las cuales producen un efecto importante en los rendimientos, podrían ser afectadas en el largo plazo si esta tecnología de producción fuera continua en el tiempo y espacio. Por esto último es necesario seguir evaluando esta práctica agrícola por más años y observar el efecto acumulado sobre las propiedades del suelo.

6. RESUMEN

Los biocombustibles son una alternativa energética hoy día, para su producción se utilizan diversas fuentes, entre ellas los residuos lignocelulósicos, por ejemplo residuo de cosecha de cultivos para grano. Para utilizar ésta tecnología de producción es necesario retirar total o parcialmente el rastrojo de la superficie. Con esto, surge la necesidad de investigar cómo afecta retirar el rastrojo el normal desarrollo y rendimiento del cultivo posterior. En este trabajo se evaluó el efecto de retirar diferentes cantidades de residuos de cosecha del cultivo de Maíz, sobre el rendimiento y los componentes que lo definen en Trigo. Los tratamientos correspondieron a tres cantidades de retiro en dos rotaciones agrícolas. Las proporciones de residuos dejados en superficie fueron de 20%, 60% y 100% del total. Las variables que se vieron afectadas por el retiro de rastrojo, son la implantación y el macollaje. En el caso de la implantación ($\text{No. Pl} \cdot \text{m}^{-2}$) se obtuvo el mayor número de plantas cuando el retiro de rastrojo fue del orden del 40%, diferenciándose de las parcelas sin retiro de residuos, pero no donde fue retirado el 80%. Esto es esperable ya que la permanencia de rastrojo en superficie, actuaría como un impedimento para colocar la semilla en la profundidad deseada y posteriormente dificultaría la emergencia de las plántulas imponiendo una barrera física para las mismas. Por otro lado, el máximo retiro de rastrojo (80%) no presentó el mejor resultado porque en ésta situación no se explotan las bondades del residuo en superficie, las cuales son en el corto plazo, una mayor acumulación de agua en el perfil dado por la disminución de las pérdidas por evaporación y/o escurrimiento y la reducción de los efectos de heladas ocurridas en esta etapa tan importante. En la rotación que incluye sorgo dulce no se encontraron diferencias entre retirar el 80% del rastrojo o dejarlo todo en superficie. Cuando no se consideró la rotación y se desactivo el tratamiento RR 40%, continúa existiendo diferencia estadística entre dejar la totalidad del rastrojo o quitarlo en un 80%. Por otro lado, no se encontró interacción entre rotación agrícola y retiro de rastrojo, sin embargo se puede observar una leve tendencia de interacción con cambio de ranking pero la misma no presenta diferencias estadísticas. En el caso del macollaje, se encontró que a mayor cantidad de rastrojo, el macollaje por unidad de superficie se redujo. El mayor número de macollos se obtuvo en el tratamiento RR 80%, pero este no se diferenció estadísticamente del tratamiento intermedio, sin embargo ambos se diferenciaron del tratamiento sin retiro de residuos. Esto en la rotación agrícola 1; por el contrario en la rotación 2 no se encontró diferencias entre los dos tratamientos evaluados. Sin embargo, se puede decir que existe

una leve tendencia a obtener mayor macollaje en la medida que se retira el rastrojo. El macollaje por planta no se vio modificado por la cantidad de residuo dejado en la superficie del suelo, así como tampoco la fertilidad de los macollos. Aunque el macollaje presenta diferencias estadísticas en la RA 1, las espigas desarrolladas no se diferencian entre los tratamientos, presentando una tendencia similar a la del macollaje. Esta falta de diferencia estadística esta explicada por la leve disminución observada en la fertilidad cuando se retira mayor cantidad de rastrojo, lo cual puede ser explicada por la mayor competencia en la planta cuando aumenta el macollaje. Las variables tamaño de espigas, peso de granos, biomasa total, índice de cosecha y rendimiento no presentaron diferencia estadística en ninguna de las dos rotaciones agrícolas. Si bien la variación en rendimiento no presenta diferencias estadísticas, se puede observar en ambas rotaciones que existe una tendencia a obtener mayores rendimientos cuando se deja menor cantidad de rastrojo. En cuanto al peso hectolítrico, persiste la tendencia de encontrar mayor heterogeneidad en los resultados obtenidos en la RA 2 en comparación a la RA 1. En RA 2 a pesar de no encontrar diferencia significativa, se observa tendencia a obtener mayor magnitud de la variable, cuando el 80% del rastrojo fue retirado. Sin embargo, en este caso la RA 1 no demuestra dicha tendencia. No se encontraron diferencias estadísticas en las variaciones del contenido de nitratos observadas en ninguna de las RA.

Palabras clave: Trigo; Retiro de rastrojo; Maíz; Siembra directa; Implantación;

Macollaje.

7. SUMMARY

Biofuels are an alternative energy today to produce a variety of sources, including lignocellulosic residues are used, for example residue harvesting grain crops. To use this production technology is necessary to remove all or part of the surface stubble. With this, the need to investigate how it affects remove stubble normal development and subsequent crop yield. In this work the effect of removing different amounts of crop residues of corn crop on the yield and components that define in wheat was evaluated. Treatments were three quantities retirement in two agricultural rotations. The proportions of surface residues were left in 20 %, 60% and 100 % of the total. The variables that were affected by the removal of stubble, are introduced and tillering. For implantation (No. $PI \cdot m^{-2}$) highest number of plants was obtained when the stubble removal was around 40 %, differing from plots without residue removal, but not where it was withdrawn on 80 %. This is expected as stubble retention, surface act as an impediment to place the seed at the desired depth and then hinder the seedling emergence impose a physical barrier for them. On the other hand, the maximum removal of stubble (80 %) do not show the best result because in this situation the benefits of surface residue are not exploited, which are in the short term, a greater accumulation of water in the profile given by decreased evaporation losses and/or runoff and reducing the effects of frosts in this important stage. The rotation that includes sweet sorghum no difference between removing 80% of the stubble or quits surface were found. When not considered treatment rotation RR and 40% deactivated, still leaving no statistical differences between the whole remove stubble or 80%. Furthermore, no interaction between rotating and agricultural crop residues found removal, can nevertheless observe a slight tendency of change of interaction with the same ranking but no statistical differences. In the case of tillering was found that the greater the amount of stubble, tillering per unit area was reduced. The highest number of tillers was obtained in the treatment RR 80%, but this was not statistically different from the intermediate treatment, no clutch both differentiated treatment without removal of waste. This agricultural rotation 1, by the rotation opposite in the two no differences between the two treatments evaluated were found. No clutch, it can be said that there is a slight tendency to get more tillering to the extent that the stubble is removed. Tillering per plant was not affected by the amount of residue left on the soil surface, nor fertile tillers. Although statistical differences presents tillering in RA 1, developed spikes do not differ between treatments, showing a similar trend tillering. This lack of statistical difference is explained by the slight

decrease in fertility observed when more stubble is removed, which can be explained by the increased competition on the ground with increasing tillering. The variable size of spikes, kernel weight, total biomass, and yield harvest index showed no statistical difference in either agricultural rotation. While variation in performance no statistical differences can be observed in both rotations that there is a tendency to higher yields when smaller amount of stubble left. As for the test weight, the tendency to find greater heterogeneity in the results of the RA 2 RA compared to 1 persists. In RA 2 despite not find significant difference trend to obtain higher magnitude of the variable, when 80 % of the stover was removed. However, in this case the RA 1 shows no such trend. No statistical differences in nitrate content variations observed in any of the RA were found.

Keywords: Wheat; Stubble removal; Corn; Tillage; Establishment; Tillering.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo, E.; Silva, P. s.f. Rotaciones de cultivos y sus beneficios para la agricultura del sur. Santiago, Fundación Chile/INIA Carillanca. 91 p.
2. _____. 2003. Agronomía de la cero labranza. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. 132 p. (Serie Ciencias Agronómicas no. 10).
3. Altamirano, A.; Da Silva, H.; Durán, A.; Echevarría, A.; Panario, D.; Puentes, R. 1976. Carta de reconocimientos de suelos del Uruguay; clasificación de suelos del Uruguay. Montevideo, MAP. DSF. t.1, 96 p.
4. Álvarez, C.; Scianca, C.; Barraco, M.; Diaz Zorita, M.; Brambilla, C. 2006. Aporte de diferentes volúmenes de rastrojo en rotaciones agrícolas; impacto sobre las propiedades edáficas. INTA EEA Gral. Villegas, Buenos Aires. pp.18-20.
5. Baethgen, W. 1992. Fertilización nitrogenada en cebada cervecera en el litoral oeste del Uruguay. Montevideo, INIA. 59 p. (Serie Técnica no. 24).
6. Bragachini, M.; Méndez, A.; Scaramuzza, F. 2004. Siembra directa de trigo con abundante rastrojo en superficie. Equipamiento de la sembradora. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 20 ago. 2012. Disponible en <http://www.elsitioagricola.com/articulos/bragachini/Siembra%20Directa%20de%20Trigo%20con%20Abundante%20Rastrojo%20en%20Superficie.asp>
7. Broder, M.W.; Wagner, G.H. 1988. Microbial colonization and decomposition of corn, wheat, and soyben residue. Soil Science Society of American Journal. 52: 112-117.
8. Cencing, G.; Villar, J.; Demarchi, G. 2011. Implantación de Colza en siembra directa; Parte 1: efecto de los rastrojos. Información técnica de Trigo y otros cultivos de invierno, campaña 2011. INTA EEA Rafaela. Publicación miscelánea no. 119. pp. 70-76.

9. Collins, H.; Elliot, L.; Rickman, R.; Bezdicek, D.; Papendick, R. 1990. Decomposition and interactions among wheat residue components. *Soil Science Society of American Journal*. 54: 780-785.
10. Domínguez, G.; Studdert, G.; Echeverría, H.; Andrare, F. 2001. Cropping systems and nitrogen nutrition in maize. *Soil Science Society of American Journal*. 19: 47-56.
11. Erenstein, O. 1997. ¿Labranza de conservación o conservación de residuos?; Una evolución del manejo de los residuos en México. México, D.F., CIMMYT. 10 p. (Resources Group Reprint Series 97 02).
12. Ernst, O.; Bentancur, O.; Borges, R. 2002. Descomposición de rastrojo de cultivos en siembra sin laboreo; trigo, maíz, soja y trigo después de maíz o de soja. *Agrociencia*. 6 (1): 20-26.
13. Fraschina, J.; Bainotti, C.; Salines, J.; Formica, B. 2002. Daño por frío en trigo. *Trigo Actualización 2002*. INTA EEA Marcos Juárez. Información para actualización. no. 71. s.p.
14. _____.; _____.; _____. 2012. El cultivo de trigo y la siembra directa en la Región central norte de Argentina. (en línea). Córdoba, EEA INTA Marcos Juárez. s.p. Consultado 8 mar. 2012. Disponible en http://www.redagraria.com/divulgaci%F3n%20t%E9cnica/articulos%20de%20dt/04-03_cultivo_trigo.html
15. García, F. 2003. Agricultura sustentable y materia orgánica del suelo; siembra directa, rotaciones y fertilidad. *In*: Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (3°. 2003, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia). Trabajos presentados. Buenos Aires, INPOFOS. s.p.
16. Guenzi, W.; McCalla, T.; Norstadt, F. 1967. Presence and persistence of phytotoxic substances in wheat, oat, corn and sorghum residues. *Agronomy Journal*. 59: 163-165.
17. Hoffman, E.; Mesa, P.; Cadenazzil, M. 2006. Caracterización de cultivares de trigo 2006. Segundo ciclo de INIA Tero, INIA Carancho, INIA Don Alberto, INIA LE 2332 e INIA Carpintero.

Primer año de Bionta 1001. (en línea). In: Jornadas Técnicas Cultivos de Invierno (2006, Paysandú). Memorias. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. s.p. Consultado 20 set. 2012. Disponible en http://www.eemac.edu.uy/jornadas-tecnicas/cat_view/126-jornadas-tecnicas/129-jornada-de-cultivos-de-invierno/157-informes-caracterizacion-trigo-y-cebada/133-caracterizacion-de-trigo

18. _____.; Fassana, N.; Morel, W. 2010a. Caracterización de cultivares de trigo 2010. Segundo ciclo de Bionta 3004, INIA 2354, INIA Chimango, Cristalino y Meteoro. Primer ciclo de Baguette 18, Baguette 17, Bionta 1006, Bionta 2004, Buck Fast, V2061/62 y Arex. (en línea). In: Jornadas Técnicas Cultivos de Invierno (2010, Paysandú). Memorias. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. s.p. Consultado 20 set. 2012. Disponible en http://www.eemac.edu.uy/jornadas-tecnicas/cat_view/126-jornadas-tecnicas/129-jornada-de-cultivos-de-invierno/157-informes-caracterizacion-trigo-y-cebada/133-caracterizacion-de-trigo
19. _____.; Perdomo, C.; Ernst, O.; Bordoli, M.; Pastorini, M.; Pons, C.; Borghi, E. 2010b. Propuesta para el manejo del nitrógeno en cultivos de invierno en Uruguay. *Informaciones Agroeconómicas del Cono Sur*. 46: 13-18.
20. Hussain, K.; Olson, R.; Ebelhar, S. 1999. Long-term tillage effectson soil chemical properties and organic matter fractions. *Soil Science Society of American Journal*. 63: 1335-1341.
21. INIA. Unidad GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Grupo Agroclima y Sistema de Información, UY). 2010. Informe Agroclimático 2010 – situación a junio. Colonia. 4 p.
22. Jenkinson, D.; Ladd, J. 1981. Microbial biomass in soil; measurement and turnover. In: Paul, E. A.; Ladd, J. eds. *Soil biochemistry*. New York, Marcel Dekker. v.5, pp. 415-471.
23. Kimber, R. 1973. Phytotoxicity from plant residues. The effect of time of rotting of straw from some grasses and legumes on the growth of wheat seedlings. *Plant and Soil*: 347-361.

24. León , E. 2008. Entre el desarrollo y el ambiente; insertidumbres de los agrocombustibles. *Agroecología*. 3: 77-85.
25. Longeri, L.; Vidal, I. ; Fernández, M. 2001. Fijación de amonio en seis suelos de la VIII region de Chile. (en línea). *Agricultura Técnica (Chile)*. 61 (2): 180-191. Consultado 19 may. 2013. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072001000200008&lng=es&nrm=iso.
26. Lopes, P.; Cogo, N.; Levien, R. 1987. Eficacia relativa do tipo e quantida de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na reducao da erosao hidrica. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 11: 71-75.
27. McCalla, T.; Norstadt, F. 1974. Toxicity problems in mulch tillage. *Agriculture and Environment*. 1 (2): 153-174.
28. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2011. Anuario estadístico agropecuario. Montevideo. 246 p.
29. Moldenhauer, W.; Kemper, W.; Stewart, B. 1994. Long-term effects of tillage and crop residue management. In: Stewart, B; Moldenhauer, W. eds. *Crop residue management to reduce erosion and improve soil quality*. Beltsville, MD, United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Conservation Research. v.37, pp. 55-60.
30. Montiel, J. 2010. Potencial de riesgo ambiental de los bioenergéticos en México. Ra Ximhai. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*. 6 (1): 57-62.
31. Morón, A. 2001. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. In: Díaz Rossello, R. eds. *Siembra directa en el cono sur*. Montevideo, Uruguay, PROCISUR. pp. 387-405.
32. Myers, R.; Noordwijk, M.; Van y Vityakon, P. 1997. Synchrony of nutrient release and plant demand; plant litter quality, soil environment and farmer management options. In: Cadish, G.; Giller, K.E. eds. *Driven by nature*. Wallingford, UK, s.e. pp. 215-229.

33. Reyes, J.; Martínez, E.; Silva, P.; Acevedo, E. 2002. Cero labranza y propiedades de un suelo aluvial de Chile central. *In*: Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (9º., 2002, Talca, Chile). Proceeding. s.n.t. pp. 78-81.
34. Rice, E. 1984a. Allelopathy. 2nd ed. Orlando, Academic Press. 189 pp.
35. _____.; Smith, M. 1984b. Short term immobilization of fertilizer nitrogen at the surface of no-till and plowed soils. *Soil Science Society of American Journal*. 48: 295-297.
36. Riquelme, J.; Díaz, K.; Ortega, R. s.f. Mejores prácticas para el manejo del rastrojo en cero labranza. *In*: Cultivos tradicionales de la zona centro sur de Chile. s.n.t. pp.113-126.
37. Sánchez S.; Studdert G.; Echevería H. 1998. Dinámica de la mineralización del nitrógeno de residuos de cosecha en descomposición en un argiudol típico. *Ciencia del Suelo*. 16: 1-6.
38. Sawchik, J. 2001. Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. *In*: Díaz Rosello, R ed. Siembra directa en el cono sur. Montevideo, Uruguay. PROCISUR. pp. 323-345.
39. Schomberg, H.; Steiner, J.; 1999. Nutrient dynamics of crop residues decomposing on a fallow no till soil surface. *Soil Science Society of American Journal*. 63: 607-613.
40. Silva, P. s.f. 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).
41. Stewart, S.; Pereyra, S.; Díaz de Ackermann, M. s.f. Manchas foliares de trigo y cebada bajo siembra directa; conceptos y estrategias de control. (en línea). Colonia, INIA. s.p. Consultado 8 mar. 2012. Disponible en <http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/le/pol/2002/informe-32.pdf>

42. Triñanes, E.; Uriarte, C. 1984. Efecto residual de rastrojos de Girasol, Maíz, Soja y Sorgo en el crecimiento y producción de Trigo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 196 p.
43. Unger, P.; Jones O.; Laryea K. 1995. Sistemas de labranza y prácticas de manejo de suelos en diferentes condiciones de tierras y climas. In: Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista (2ª., 1995, Guanare, Venezuela). Memorias. s.l., RELACO. pp. 82-117.
44. Velásquez, G.; Salinas, G.; Potter, K.; Gallardo, V.; Caballero, H.; Diaz, P. 2002. Cantidad, cobertura y descomposición de residuos de maíz sobre el suelo. TERRA Latinoamericana. 20 (002): 171-182.
45. Verges, R.; Diaz, M.; Germán, S.; Vazquez, D. 2007. LE 2331 (INIA Don Alberto) y LE 2333 (INIA Carpintero), dos nuevas variedades de trigo de muy alto potencial de rendimiento. Revista INIA. no. 10: 26-28.
46. Vidal, I.; Etchevers, J.; Fischer, A. 1997. Biomasa microbiana en un suelo sometido a diferentes manejos de labranza y totación. Agricultura Técnica.(Chile). 57: 272-281.

9. ANEXOS

Cuadro 1a. Análisis de varianza para rendimiento de maíz por hectárea (2009/2010), particionado por rotación agrícola.

Rotación Agrícola 1:

Análisis de la varianza					
RA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Rendimiento (kg/ha)	9	0,69	0,59	20,99
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8238000,67	2	4119000,3	6,75	0,0292
RR	8238000,67	2	4119000,3	6,75	0,0292
Error	3663255,33	6	610542,56		
Total	11901256	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1957,43339					
Error: 610542,5556 gl: 6					
RR	Medias	n	E.E.		
0	4811,67	3	451,13	A	
80	3875,33	3	451,13	A	B
40	2483	3	451,13		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)					

Rotación Agrícola 2:

Análisis de la varianza					
RA	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	Rendimiento (kg/ha)	6	0,02	0	52,26
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	138624	1	138624	0,07	0,8043
RR	138624	1	138624	0,07	0,8043
Error	7911070	4	1977767,5		
Total	8049694	5			

Cuadro 2a. Análisis de varianza para cantidad de materia seca del rastrojo dejado en cada tratamiento por hectárea, particionado por rotación agrícola.

Rotación agrícola 1:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	MS/ha (Kg)	9	0,90	0,86	9,07
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1666646	2	833323	25,65	0,0011
% RR	1666646	2	833323	25,65	0,0011
Error	194959	6	32493		
Total	1861605	8			
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=451,56957					
Error: 32493,1 gl: 6					
% RR	Medias	n	E.E.		
0	2510	3	104,07	A	
40	1995	3	104,07	B	
80	1456	3	104,07	C	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)					

Rotación agrícola 2:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	MS/ha (Kg)	6	0,27	0,09	20,51
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	243614	1	243614	1,5	0,2882
% RR	243614	1	243614	1,5	0,2882
Error	650577	4	162644		
Total	894191	5			

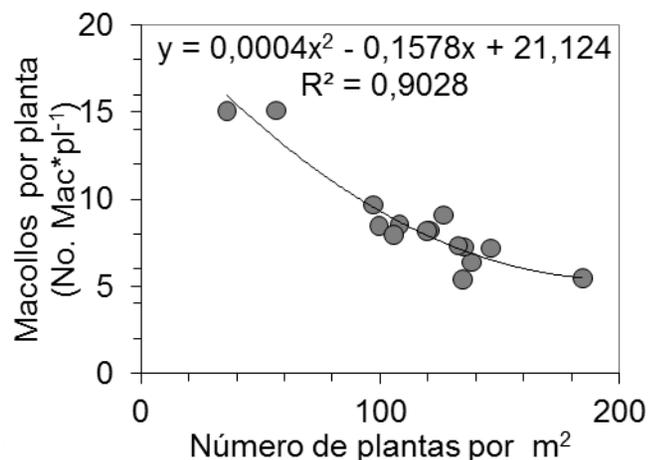


Figura 1a. Relación entre el número de plantas por metro cuadrado y el macollaje por planta. Independiente al tratamiento y para ambas rotaciones agrícolas.

Cuadro 3a. Análisis de varianza para implantación lograda en los diferentes tratamientos de retiro de rastrojo, particionado por rotación agrícola.

Rotación agrícola 1:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	No. pl/m ² (2)	9	0,64	0,51	20,58
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6481,56	2	3240,78	5,24	0,0483
% RR	6481,56	2	3240,78	5,24	0,0483
Error	3713,33	6	618,89		
Total	10194,89	8			
Test: LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=39,47060					
Error: 618,8889 gl: 6					
% RR	Medias	n	E.E.		
40	148	3	14,36	A	
80	130,33	3	14,36	A	
0	84,33	3	14,36	B	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,10)					

Rotación agrícola 2:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	No. pl/m ² (2)	6	0,2	0,01	34,87
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1472,67	1	1472,67	1,03	0,3684
% RR	1472,67	1	1472,67	1,03	0,3684
Error	5742,67	4	1435,67		
Total	7215,33	5			

Cuadro 4a. Análisis de varianza para implantación lograda en los diferentes tratamientos de retiro de rastrojo, para ambas rotaciones agrícolas y desactivando el tratamiento adicional (RR – 40).

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
No. pl/m ² (2)	12	0,39	0,16	27,89	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4652	3	1550,67	1,71	0,2419
% RR	4485,33	1	4485,33	4,94	0,0569
R. A.	5,33	1	5,33	0,01	0,9408
% RR*R. A.	161,33	1	161,33	0,18	0,6844
Error	7258	8	907,25		
Total	11910	11			
Test: LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=32,33778					
Error: 907,2500 gl: 8					
% RR	Medias	n	E.E.		
80	127,33	6	12,3	A	
0	88,67	6	12,3	B	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,10)					

Cuadro 5a. Análisis de varianza para macollaje por metro cuadrado en los diferentes tratamientos de retiro de rastrojo, particionado por rotación agrícola.

Rotación agrícola 1:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	No. Mac/m ² (2)	9	0,61	0,48	7,43
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	48206	2	24103	4,68	0,0595
% RR	48206	2	24103	4,68	0,0595
Error	30870	6	5145		
Total	79076	8			
Test: LSD Fisher Alfa=0,10 DMS=113,80467					
Error: 5145,0000 gl: 6					
% RR	Medias	n	E.E.		
80	1058	3	41,41	A	
40	960	3	41,41	A	B
0	879	3	41,41		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,10)					

Rotación agrícola 2:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	No. Mac/m ² (2)	6	0,01	0	22,66
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1568,17	1	1568,17	0,04	0,8434
% RR	1568,17	1	1568,17	0,04	0,8434
Error	141305,33	4	35326,33		
Total	142873,5	5			

Cuadro 6a. Análisis de varianza para espigas por metro cuadrado en los diferentes tratamientos de retiro de rastrojo, particionado por rotación agrícola.

Rotación agrícola 1:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Esp/m2	9	0,23	0	11,62
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8200,67	2	4100,33	0,91	0,453
% RR	8200,67	2	4100,33	0,91	0,453
Error	27151,33	6	4525,22		
Total	35352	8			

Cuadro 6b. Análisis de varianza para espigas por metro cuadrado en los diferentes tratamientos de retiro de rastrojo, particionado por rotación agrícola.

Rotación agrícola 2:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	Esp/m2	6	0,01	0	28,84
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	726	1	726	0,03	0,8692
% RR	726	1	726	0,03	0,8692
Error	94291,33	4	23572,83		
Total	95017,33	5			

Cuadro 7a. Análisis de varianza para fertilidad de tallos en los diferentes tratamientos de retiro de rastrojo, particionado por rotación agrícola.

Rotación agrícola 1:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Fert.	9	0,07	0	11,24
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	20,16	2	10,08	0,22	0,808
% RR	20,16	2	10,08	0,22	0,808
Error	273,71	6	45,62		
Total	293,87	8			

Cuadro 7b. Análisis de varianza para fertilidad de tallos en los diferentes tratamientos de retiro de rastrojo, particionado por rotación agrícola.

Rotación agrícola 2:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	Fert.	6	0,03	0	16,44
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13,8	1	13,8	0,13	0,7405
% RR	13,8	1	13,8	0,13	0,7405
Error	437,85	4	109,46		
Total	451,66	5			

Cuadro 8a. Análisis de varianza para macollaje por planta en los diferentes tratamientos de retiro de rastrojo, particionado por rotación agrícola.

Rotación agrícola 1:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Mac/pl	9	0,5	0,33	25,97
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	30,12	2	15,06	2,98	0,1262
% RR	30,12	2	15,06	2,98	0,1262
Error	30,31	6	5,05		
Total	60,42	8			

Cuadro 8b. Análisis de varianza para macollaje por planta en los diferentes tratamientos de retiro de rastrojo, particionado por rotación agrícola.

Rotación agrícola 2:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	Mac/pl	6	0,31	0,13	36,59
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	17,34	1	17,34	1,77	0,2547
% RR	17,34	1	17,34	1,77	0,2547
Error	39,29	4	9,82		
Total	56,63	5			

Cuadro 9a. Análisis de varianza para granos por espiga en los diferentes tratamientos de retiro de rastrojo, particionado por rotación agrícola.

Rotación agrícola 1:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Gran./Esp.	9	0,22	0	3,73
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,05	2	0,52	0,86	0,4696
% RR	1,05	2	0,52	0,86	0,4696
Error	3,65	6	0,61		
Total	4,7	8			

Cuadro 9b. Análisis de varianza para granos por espiga en los diferentes tratamientos de retiro de rastrojo, particionado por rotación agrícola.

Rotación agrícola 2:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	Gran./Esp.	6	0,09	0	5,99
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,67	1	0,67	0,4	0,5637
% RR	0,67	1	0,67	0,4	0,5637
Error	6,75	4	1,69		
Total	7,41	5			

Cuadro 10a. Análisis de varianza para peso de mil granos en los diferentes tratamientos de retiro de rastrojo, particionado por rotación agrícola.

Rotación agrícola 1:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	PMG (g)	9	0,48	0,3	2,38
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,18	2	2,09	2,73	0,1437
% RR	4,18	2	2,09	2,73	0,1437
Error	4,59	6	0,77		
Total	8,77	8			

Cuadro 10b. Análisis de varianza para peso de mil granos en los diferentes tratamientos de retiro de rastrojo, particionado por rotación agrícola.

Rotación agrícola 2:

Análisis de la varianza					
R. A.	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	PMG (g)	6	4,60E-03	0	2,5
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	1	0,01	0,02	0,898
% RR	0,01	1	0,01	0,02	0,898
Error	3,22	4	0,81		
Total	3,24	5			