

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**MODIFICACIÓN DEL DESARROLLO Y RENDIMIENTO DE SORGO POR
CAMBIOS DE TEMPERATURA, HUMEDAD Y RADIACIÓN PROVOCADAS
POR EL RASTROJO**

por

Fernando Andrés ROMERO RÜSCH

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2014**

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. Javier Coitiño

Ing. Agr. Sebastián Mazzilli

Fecha: 17 de diciembre de 2014

Autor: -----

Fernando Romero Rüsck

AGRADECIMIENTOS

- Al tutor Ing. Agr. Oswaldo ERNST por acompañarme en la realización del trabajo.
- Al Ing. Agr. Javier COITIÑO por su gran ayuda y disposición durante el trabajo de campo como en la etapa de análisis y redacción de este trabajo.
- A Monico quien brindó una gran colaboración durante la etapa de campo.
- Al personal de laboratorio No.1 de la Estación Experimental Mario A. Cassinoni.
- Al personal de biblioteca de Facultad de Agronomía por su ayuda en la búsqueda de información y a Sully Toledo por sus aportes.
- A todos aquellos que de una u otra manera colaboraron para la realización del este trabajo y me acompañaron durante toda la carrera, especialmente familia y amigos.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1 TEMPERATURA DEL SUELO.....	2
2.1.1 <u>Efecto de la siembra directa sobre la temperatura del suelo</u>	2
2.1.2 <u>Efecto del régimen térmico del suelo sobre el desarrollo temprano del cultivo</u>	4
2.1.2.1 Desarrollo radicular.....	5
2.1.3 <u>Efecto del régimen térmico del suelo sobre el crecimiento inicial del cultivo</u> ..	6
2.1.3.1 Elongación foliar	7
2.1.3.2 Elongación de entrenudos	7
2.1.3.3 Crecimiento radicular.....	8
2.2 HUMEDAD DEL SUELO	9
2.2.1 <u>Pérdida de agua del suelo</u>	10
2.2.2 <u>Efecto del rastrojo del cultivo antecesor sobre las pérdidas y eficiencia en el uso del agua</u>	10
2.3 RADIACIÓN SOLAR	12
2.3.1 <u>Características fotosintéticas del sorgo</u>	12
2.3.2 <u>Efecto sobre el crecimiento</u>	13
2.3.3 <u>El albedo de una superficie</u>	15
2.4 RENDIMIENTO	15

2.4.1 <u>Efecto del rastrojo del cultivo antecesor sobre el rendimiento del cultivo de segunda</u>	15
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	17
3.1 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	17
3.2 DETERMINACIONES	18
3.2.1 <u>Datos climáticos</u>	18
3.2.2 <u>Mediciones efectuadas en el suelo</u>	18
3.2.3 <u>Mediciones efectuadas en la planta</u>	18
3.2.3 <u>Otras mediciones</u>	19
3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	19
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	21
4.1. CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA	21
4.1.1 <u>Precipitaciones</u>	21
4.1.2 <u>Temperatura</u>	21
4.1.3 <u>Radiación</u>	22
4.2 EFECTO DEL RASTROJO DEL CULTIVO ANTECESOR SOBRE EL AMBIENTE.	23
4.2.1 <u>Humedad</u>	24
4.2.2 <u>Temperatura</u>	24
4.2.3 <u>Radiación</u>	27
4.3. EFECTO DEL RASTROJO DEL CULTIVO ANTECESOR SOBRE EL CULTIVO DE SORGO	28
4.3.1 <u>Efecto del rastrojo sobre la implantación</u>	28
4.3.2 <u>Efecto del rastrojo sobre el desarrollo del cultivo de sorgo</u>	29
4.3.3 <u>Efecto del rastrojo sobre el crecimiento del cultivo de sorgo</u>	30
4.3.4 <u>Efecto del rastrojo sobre el rendimiento en grano y sus componentes</u>	33
5. <u>CONCLUSIONES</u>	36
6. <u>RESUMEN</u>	37
7. <u>SUMMARY</u>	38

8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	39
9. <u>APÉNDICES</u>	46

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Cantidad de rastrojo del cultivo de invierno antecesor sobre superficie, según tratamiento.....	23
2. Humedad gravimétrica del suelo de 0-8cm según momento de evaluación y tratamiento.....	24
3. Suma térmica a partir de los 7 días post-siembra para tres momentos según tratamiento (°Cdías).	26
4. Porcentaje de cielo visible según tratamiento (rastrojo+cultivo).....	27
5. Reducción del porcentaje de cielo visible en relación al Trat. SR (efecto rastrojo). ...	27
6. Población lograda del cultivo de sorgo según tratamiento.....	28
7. Pruebas de hipótesis secuenciales para número de hojas verdaderas por planta (Escala Haun)	30
8. Estado de desarrollo (escala de Vanderlip) de las plantas según tratamiento a los 80 días post-siembra.	30
9. Peso de planta (g) según tratamiento a los 40 y 78 días post-siembra.....	32
10. Peso de mil granos (g) de sorgo según tamaño de panoja y tratamiento.	34
11. Número total de panojas, panojas/planta y número de panojas según tamaño para cada tratamiento por m ²	35
 Figura No.	
1. Precipitaciones para el período noviembre-mayo del año 13/14 a intervalos de tiempo de 10 días.	21
2. Temperatura media para una serie histórica y período experimental Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni.....	22
3. Radiación media para una serie histórica y período experimental Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni.....	23
4. Temperatura media diaria registrada según tratamiento y precipitaciones diarias para el período diciembre-marzo 2013-14.	25

5. Efecto de la cantidad de rastrojo de trigo sobre el suelo en el número de hojas verdaderas por planta (Escala Haun).....	29
6. Evolución de la altura de planta según tratamiento.	31
7. Evolución del IAF según tratamiento.	32
8. Rendimiento de sorgo según tratamiento.....	33

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de sorgo es relativamente nuevo en el Uruguay, presentando un importante crecimiento en el área de siembra en la década del 60' y 70', con un pico máximo a mediados de los 70' que luego decrece hasta principios de la primera década del 2000 (URUGUAY. MGAP. DIEA, s.f.).

En la zafra 2012/2013 se sembraron 49 mil hectáreas en Uruguay (Ferrari, 2013), pero es de esperar que para esta zafra (2013/2014) y posteriores, el área se incremente debido a la reciente implementación del Plan de Uso y Manejo de Suelos y a la instalación de una nueva planta de bioetanol de la empresa ALUR, que tendrá al sorgo como principal materia prima.

Hoy, una proporción muy alta del área sembrada con sorgo se realiza sobre el rastrojo de cultivos de invierno previo sin laboreo, por lo que se trata principalmente de un cultivo de segunda. En esta situación, el cultivo muestra un crecimiento inicial diferente al observado en condiciones de laboreo.

La siembra directa se caracteriza por una mayor compactación, menor disponibilidad de nitrógeno, mayor humedad, menor temperatura media en el suelo y amplitud térmica (O'Brien y Willebald, 1996). A esto se le suma la presencia de rastrojo en pie del cultivo anterior, lo cual genera un ambiente diferente para el crecimiento vegetal, en especial, durante las primeras semanas del cultivo.

La hipótesis planteada previa al desarrollo del trabajo fue que la cantidad de residuo de un cultivo de invierno afecta el ambiente (temperatura, humedad del suelo y radiación) en el que se desarrolla el cultivo de sorgo granífero sembrado posteriormente, afectando el crecimiento del área foliar e intercepción de radiación, con impactos negativos sobre el rendimiento.

El objetivo del presente trabajo es cuantificar el impacto de la cantidad de rastrojo del cultivo de invierno antecesor sobre la humedad, temperatura del suelo, la intercepción de radiación y su relación con el crecimiento inicial, morfología y el rendimiento de sorgo granífero de segunda.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Hoy en la agricultura se utilizan rotaciones más intensivas con alta presencia de soja como cultivo de verano, generando la necesidad de incluir cultivos C4 como el sorgo para un uso del suelo más sustentable. Este cultivo es de gran importancia por el aporte de rastrojos voluminosos al suelo. Por lo que al incluirlo en las rotaciones, no se producen los descensos progresivos de materia orgánica del suelo que se dan por ejemplo en la secuencias trigo-soja continua. (Carrasco, citado por Bernardis et al., 2002). También hay que tener en cuenta que el rastrojo de este cultivo presenta una alta relación C/N, alto contenido de carbohidratos estructurales, con alto contenido de lignina y muy bajo contenido de proteína cruda (3,6 -4,1%) (Crespi y Crespi, Mieres, citados por Mieres et al., 2011). La consecuencia es una baja tasa de mineralización y mayor tiempo de suelo protegido frente a la erosión, lo que resulta en un efecto a largo plazo sobre la agregación (Boyle et al., citados por Buschiazzi et al., 1998). El rastrojo alto, además de brindar mayor protección al suelo del impacto de la gota de lluvia (menor riesgo de erosión, de encostramiento, etc.) pueden generar un ambiente más propicio para el crecimiento vegetal, al actuar como un cultivo protector ya que se mantiene en pie, anclado al suelo (Formoso, 2007).

En el presente, la agricultura se realiza en más del 90% de la superficie bajo el sistema de siembra directa (Perrachón, 2011), la cual genera un ambiente diferente para el crecimiento vegetal frente a situaciones con laboreo: mayor compactación, menor disponibilidad de nitrógeno, mayor humedad (mayor infiltración y menor evaporación), menor temperatura media y amplitud térmica, presencia de materia orgánica en descomposición con liberación de toxinas y mayores posibilidades de anoxia (O'Brien y Willebald, 1996).

De los factores mencionados anteriormente se pondrá énfasis sobre la temperatura, humedad y radiación ya que son los parámetros que tienen mayor efecto sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo, pudiendo provocar cambios en el rendimiento.

2.1 TEMPERATURA DEL SUELO

2.1.1 Efecto de la siembra directa sobre la temperatura del suelo

El laboreo afecta la temperatura del suelo y la humedad en la cama de siembra. En ausencia de laboreo, generalmente resultan menores temperaturas debido al efecto de los residuos que quedan en superficie (Van Wijk et al., citados por Gauer et al., 1982).

En un experimento cuyos objetivos fueron estudiar la temperatura del suelo y la humedad del mismo bajo labranza cero, en comparación con labranza convencional con tres prácticas de manejo del rastrojo; se determinó que las temperaturas máximas en el suelo fueron menores cuando el rastrojo fue dejado en superficie que cuando este fue incorporado. A diferencia de las máximas temperaturas, las mínimas no se redujeron en función del sistema de siembra empleado. Durante la etapa más fría del día las temperaturas bajo cero laboreo fueron iguales a las de laboreo convencional (Gauer et al., 1982). Resultados similares fueron obtenidos por Izaurralde et al. (1986), quienes además mencionan que la presencia de residuo en superficie y la falta de una adecuada colocación de la semilla, ha de reducir la producción de un cultivo de trigo cuando se utilizó sistemas de mínimo laboreo.

Estas menores temperaturas máximas e iguales temperaturas mínimas llevaron a que bajo labranza cero las temperaturas promedio del suelo sean menores que bajo laboreo convencional (Gauer et al., 1982). Benitez y Leucona (1996) también mencionan que bajo siembra directa (SD) se produce una menor amplitud térmica.

Estudios realizados por Gauer et al. (1982) muestran que cuando el rastrojo fue desparramado sobre la superficie del suelo, los suelos bajo siembra directa fueron generalmente más fríos que los suelos bajo laboreo convencional. Cuando el rastrojo fue retirado sucedió lo contrario, y cuando este fue quemado no se vieron diferencias importantes entre ambos tipos de laboreo.

Aston y Fischer (1986) han demostrado que a mayor volumen de rastrojo en superficie, el suelo absorbe menos energía, lo que determina las menores temperaturas diarias en siembra directa. Durante la noche, cuando las temperaturas del aire son inferiores a las temperaturas en la superficie del suelo, se dan pérdidas netas de energía desde el suelo. Estas pérdidas son menores en suelo bajo siembra directa los cuales están protegidos por el rastrojo. También demostraron que a mayor profundidad las temperaturas son menores y se igualan las diferencias entre los diferentes tratamientos.

El volumen de rastrojo en superficie influye directamente en la disminución de la temperatura del suelo. Allamaras, citado por Wilhelm (1986) trabajando en clima templado, encontró que una tonelada de rastrojo de cultivo de invierno en superficie disminuye la temperatura promedio del suelo a 10 cm de profundidad en 0,15 a 0,3 °C.

Cuando el cultivo se encuentra en estados avanzados, el sombreado del suelo por parte del canopeo se incrementa, lo cual lleva a que las temperaturas del suelo bajo

los diferentes tratamientos de labranza y manejo del rastrojo sean similares (Wijk et al. 1959, Gauer et al. 1982).

2.1.2 Efecto del régimen térmico del suelo sobre el desarrollo temprano del cultivo

La temperatura del suelo afecta todos los aspectos del desarrollo vegetativo temprano de gramíneas: la emergencia de plántulas y la iniciación, aparición y número final de hojas y macollos (ONG, 1983). Todos los procesos fisiológicos de la planta ocurren más rápidamente a medida que la temperatura aumenta entre una temperatura base y una temperatura óptima (FAO, citado por Osorio, 2011). El desarrollo morfológico de un cultivo se relaciona linealmente con la temperatura, por lo tanto, para cumplir con las distintas fases fenológicas y completar el ciclo, el cultivo responde a un rango térmico, donde la suma térmica puede ser útil como criterio para predecir la madurez fisiológica (Rivetti, citado por Hernández y Soto, 2013).

El maíz presenta el meristema apical por debajo de la superficie del suelo, el cual permanece en esta posición durante un período prolongado, hasta el estadio de seis hojas (Beauchamp y Lathwell, citados por Gauer et al., 1982). Esta podría ser la explicación del porque la temperatura del suelo influye sobre el crecimiento y desarrollo temprano en el cultivo de maíz al igual que en el sorgo, que presenta esta misma característica.

Las temperaturas del suelo de principio de temporada (a la siembra) deben ser lo suficientemente altas como para promover una rápida germinación del cultivo (Gauer et al., 1982). En el caso del sorgo la temperatura base de germinación es de 10°C, siendo la óptima entre 18 y 21°C. Para los 35° de longitud la temperatura mínima a nivel del suelo se alcanza entre el 10 y 22 de setiembre, lográndose la óptima recién a principio de noviembre (Ernst, citado por Siri, 2004).

Las menores temperaturas superficiales del suelo y los mayores contenidos de humedad, bajo cero laboreo, pueden llevar a una menor emergencia y a un desarrollo de plántula más lento que el que se da en laboreos convencionales (Keppler y Rickman, citados por Lafond et al., 1994). Pero, según Gauer et al., Carter y Rennie, citados por Lafond et al. (1994) los cambios en la temperatura del suelo debido a los sistemas de labranza tendrían poco efecto sobre la germinación de los cultivos de cereales.

Según Power et al. (1970), en experimentos en donde se comparan plantas de igual edad calendario, los efectos de la temperatura del suelo en el crecimiento de la planta y la nutrición son confundidos con efectos en la madurez fisiológica y

morfológica (desarrollo). Plantas creciendo a 9°C de temperatura de suelo llegaron a espigazón a los 65 días post siembra mientras que a 15,5 y 22°C, las plantas alcanzaron dicho estadio a los 50 días post siembra.

Gauer et al. (1982), determinaron que las temperaturas del suelo más bajas, bajo sistema de cero laboreo, dieron como resultado retrasos en el desarrollo de un cultivo de maíz. Posteriormente Fortin y Pierce (1990) obtuvieron resultados similares donde el mantillo de paja retrasó significativamente el desarrollo en maíz, en comparación con un control de suelo desnudo, pero no se encontró diferencia en la fitomasa aérea cuando la comparación se llevó a cabo en etapas vegetativas similares. En contrapartida, cuando las comparaciones se realizaron en fechas calendario, el tratamiento con residuo mostró valores significativamente más bajos.

Opoku y Vyn (1996), en un experimento llevado a cabo en Canadá con el cultivo de maíz, en el cual se evaluaron cuatro métodos para la gestión de residuos de trigo en dos niveles de labranza (laboreo convencional y labranza cero), determinaron que bajo siembra directa, cuando se retiró el rastrojo de trigo, se redujo el número de días para alcanzar el 50% de emisión de estigmas respecto a los tratamientos en los cuales permaneció el rastrojo sobre la superficie.

2.1.2.1 Desarrollo radicular

Gregory, citado por Bowen (1991) determinó que la producción de ejes primarios en cereales es afectado por la temperatura. La producción de ejes radiculares primarios a los 16 DPE fue de 2, 5 y 8 para las temperaturas radiculares de 19, 25 y 35°C respectivamente (Gregory, citado por Bowen, 1991)

Las raíces laterales surgen de los primordios diferenciados del periciclo, por ende puede esperarse un efecto directo de la temperatura del suelo en la iniciación de dichas raíces. Al aumentar la temperatura, se incrementa el número de raíces laterales. Sumado a esto, se encontró buenas relaciones entre la producción de raíces laterales y la temperatura del meristema apical del tallo, sugiriendo que el mayor efecto en la iniciación de raíces laterales fue por asimilación o suministro de hormonas desde este hacia las raíces (Gregory, 1986).

Las auxinas influyen sobre la formación de raíces laterales (Torrey, citado por Kemanian y Leites, 1996), siendo producidas por la división activa de las células. Esto podría explicar los efectos de la temperatura sobre la morfología del sistema radicular.

Bowen (1991) cita como posibles causas de la producción diferencial de raíces laterales a la temperatura del suelo, asimilación y/o suministro de hormonas y grado de dominancia apical de las raíces a distintas temperaturas.

2.1.3 Efecto del régimen térmico del suelo sobre el crecimiento inicial del cultivo

La temperatura del suelo es el factor más importante en la determinación del crecimiento inicial de los cultivos (Aston y Fischer 1986, Hay, Hay y Tunnicliffe, citados por Aston 1987).

Al principio del período de crecimiento, las temperaturas más frías bajo el rastreo del cultivo antecesor (Doupnik y Boosalis, Fortin y Pierce, Willis et al., citados por Wicks et al., 1994) provocaron una desaceleración de la tasa de crecimiento del maíz (Wicks et al., 1994). Sumado a esto, las plantas de sorgo tienen un relativo lento crecimiento inicial, comparado con otras especies que se utilizan en la producción de granos. Solo el 10-15% del peso seco final es acumulado en la primera mitad del período de crecimiento (Batel y Martin, citados por Lovett y Lazemby, 1979). Este bajo crecimiento inicial puede ser consecuencia de una alta partición de fotosintatos a las raíces comparado con otras plántulas (Lovett y Lazemby, 1979).

Brouwer, citado por Kramer (1974) sostiene que la disminución del crecimiento a bajas temperaturas radicales puede deberse a la tensión hídrica causada por la menor absorción de agua. El lento crecimiento también puede deberse a una menor tasa de elongación foliar que se traduce en hojas más cortas y por lo tanto en menor área foliar (Kemanian y Leites, 1996).

Bowen (1991) sostiene que una posible forma de incidencia de la temperatura del suelo sobre la performance del tallo, puede deberse a que el meristemo apical provocaría modificaciones en el balance de sustancias de crecimiento y afectaría la absorción de nutrientes y agua.

Las bajas temperaturas del suelo bajan la translocación de carbohidratos desde la parte aérea a la raíz; los mecanismos de absorción son más lentos y se modifica la concentración y composición del fluido xilemático (hormonas y otras sustancias orgánicas) (Atkin et al., citados por Klepper, 1991).

2.1.3.1 Elongación foliar

Beautchamp y Lathwell, Kleinendorst y Brouwer, citados por Watts (1971), han indicado que la temperatura del meristema apical del tallo es más importante que la temperatura de la raíz en determinar la tasa de elongación foliar.

Hay y Tunnicliffe, citados por Aston (1987) determinaron que la tasa de elongación de la hoja en trigo estuvo linealmente relacionada con la acumulación de temperatura a una profundidad de 5 cm.

Al aumentar la temperatura del meristema apical del maíz, la tasa de elongación foliar se duplicó cada 10°C de aumento entre 5 a 30°C. En plantas transpirando, la temperatura de la zona radicular afectó la tasa de elongación de la hoja ya que la circulación de agua fría en la planta disminuyó la temperatura del meristemo apical (Watts, 1971). A menor temperatura del suelo, aumenta la concentración de carbohidratos en hoja, provocando una menor tasa de extensión foliar. Esto es consecuencia de que la elongación de la hoja está relacionada con la concentración de carbohidratos solubles en la parte aérea de la planta (Aston, 1987).

Azcón-Bieto, citado por Aston (1987) determinan que es posible que la mayor acumulación de hidratos de carbono como consecuencia de las bajas temperaturas provoque una reducción en la fotosíntesis, llevando a una menor elongación foliar. Niveles de translocación más bajos y cambios en los niveles hormonales también pueden dar lugar a una menor elongación.

2.1.3.2 Elongación de entrenudos

Hoefler et al. (1981), en un experimento desarrollado en la localidad de Nebraska encontraron que un mes después de la siembra de maíz sobre rastrojo de trigo, la altura del maíz fue significativamente menor que en parcelas en que el rastrojo de trigo había sido removido al momento de la siembra del cultivo de verano. El crecimiento probablemente haya sido menor como consecuencia de las menores temperaturas de suelo cuando el rastrojo estuvo presente. Wicks et al. (1994) trabajando en el mismo sitio adiciona que la altura del maíz después de la floración aumentó con el aumento en los niveles de residuo en superficie; esto también fue reportado por otros investigadores (Orderdonk y Ketcheson, Triplett et al., citados por Wicks et al., 1994). Las condiciones de humedad más favorable bajo el rastrojo permitió una mayor elongación de los entrenudos y por lo tanto el aumento en altura de los tallos. También

determinaron que el contenido de materia seca de tallos y hojas, aumentaron a medida que aumentó el nivel de rastrojo.

2.1.3.3 Crecimiento radicular

El crecimiento radicular está condicionado por la temperatura del suelo. El mínimo de temperatura requerido para que las raíces crezcan se encuentra alrededor de 5°C y la máxima a 35-40°C, con un óptimo de 25°C (Bowen, 1991). Según Kemanian y Leites (1996), en el caso de suelos con temperaturas subóptimas y que no presenten isothermas favorables al crecimiento radicular, sería esperable una menor exploración radicular que disminuiría la captación de nutrientes. Esto se da debido a que varias especies producen raíces más finas y menos ramificadas (Cooper, citado por Hay, 1976). En el cultivo de maíz las bajas temperaturas en la zona radicular reducen tanto el crecimiento radicular como el apical (Barlow et al., Grobbelaar, Walker, citados por Engels y Marschner, 1990). Esto puede ser consecuencia de alteraciones en el aporte de fitohormonas por parte de las raíces, agua o nutrientes (Atkin et al., Barlow y Boersma, citados por Engels y Marschner, 1990)

Benitez y Leucona (1996) determinaron que el crecimiento y el contenido de nutrientes en las raíces durante los estados de crecimiento temprano fueron menores a temperaturas de suelo mayores. Esto se da porque la temperatura del suelo estimula el crecimiento apical a expensas del desarrollo radicular.

Elongación radicular

Con una temperatura aérea de 25°C, plantas de maíz tuvieron por lo menos el doble de largo de raíces a una temperatura del suelo de 25°C comparado con aquellas que fueron expuestas a 18°C. Sumado a esto, absorbieron 60% más de fósforo las que se mantuvieron a mayor temperatura (Mackay y Barber, 1984). Esta mayor longitud de raíces se da como consecuencia del mayor desarrollo de raíces laterales a temperaturas óptimas (Bowen, 1991). Teniendo en cuenta lo anterior, la densidad radicular se incrementa a medida que aumentan las temperaturas, lo cual no ocurre lo mismo con el peso radicular (Sharratt, 1991).

Morfología radicular

Temperaturas bajas, afectan la anatomía y diferenciación de las raíces (Kramer, 1974). Como fue mencionado anteriormente, el diámetro radical es afectado por la temperatura, relacionándose directamente con la temperatura del suelo (Bowen, 1991).

Cuando las raíces crecen a bajas temperaturas es común que muy cerca del ápice radicular ocurra suberización (Bowen, 1991).

2.2 HUMEDAD DEL SUELO

Este factor es de gran relevancia ya que el rendimiento de un cultivo está directamente relacionado con la cantidad de agua transpirada por el mismo (Lafond et al., 1994). Varios investigadores, trabajando en maíz, han observado que la falta de humedad durante el período de 30 días antes de la floración provoca reducción en el peso del tallo, longitud de los entrenudos, materia seca de las hojas y en el índice de área foliar (Claasen y Shaw, Denmead y Shaw, Miller y Duley, citados por Wicks et al., 1994).

La importancia de la humedad está dada por su incidencia sobre la implantación, desarrollo y rendimiento de los cultivos; siendo el suelo el reservorio de agua para los períodos en que no ocurren precipitaciones. En los sistemas de producción en secano la eficiencia de captación y de retención por parte del suelo son fundamentales ya que éste es la única fuente (Unger, 1981).

Es notoria la baja autonomía hídrica de los suelos agrícolas en relación a las necesidades de agua de los cultivos, por lo que existe una elevada dependencia de las recargas para lograr un abastecimiento ajustado a las demandas hídricas, y en condiciones de secano las recargas provienen solamente de las precipitaciones (Giménez y García, 2009)

Cuando se implementan sistemas de producción con doble cultivo anual, el agua disponible a la siembra del cultivo de verano es el residuo del consumo realizado por el cultivo de invierno y la cantidad y distribución de lluvias durante el último mes de su estación de crecimiento (Ernst et al., 2009). Para el cultivo de verano de segunda, siempre hay dependencias de las lluvias ya que el cultivo de invierno en la mayoría de los años entrega el suelo con baja disponibilidad de agua a la siembra. Esto no necesariamente determina rendimientos inferiores a los cultivos de primera que se inician sobre un perfil a capacidad de campo, en especial si la capacidad de almacenaje del suelo no es importante. Para estos casos las precipitaciones que ocurran en el período crítico de los cultivos son las principales determinantes del rendimiento final (Ernst et al., 2009).

2.2.1 Pérdida de agua del suelo

Las pérdidas de agua desde el suelo pueden ser directas, a través de la evaporación desde el perfil o indirectas a través de la extracción de los cultivos. Los rastros dejados sobre la superficie en sistemas de cero laboreo actúan afectando principalmente las pérdidas directas (Condon et al., 1995).

Bond y Willis (1971) determinaron que la evaporación del agua del suelo puede caracterizarse por tres etapas. Una primera o etapa de tasa constante, cuando el suelo se encuentra húmedo, el movimiento de agua del suelo es principalmente de flujo líquido y la evaporación está controlada por las condiciones externas (demanda atmosférica). Una segunda etapa de corta duración, en la cual la tasa de evaporación desciende rápidamente, iniciándose la misma cuando por primera vez la superficie del suelo aparece seca. La tercera y última etapa se caracteriza por una lenta evaporación, donde el movimiento del agua a través de la superficie seca del suelo es principalmente por difusión de vapor y la evaporación es controlada por las condiciones internas del suelo.

Durante el desarrollo de un cultivo, los diferentes tipos de pérdidas presentan distinta importancia relativa. En las etapas iniciales las pérdidas son principalmente por evaporación, mientras que en los estadios más avanzados la extracción de agua por parte del cultivo toma mayor importancia (Van Wijk et al., 1959)

Bajo siembra directa el mayor agotamiento se da en la zona de 0,6-1,0 m de profundidad, en comparación con labranza convencional en la zona de 1,0-1,2 m de profundidad; esto se correlacionó con las diferencias de rendimiento, siendo el coeficiente de correlación entre el discutido agotamiento de agua del suelo y el rendimiento de maíz significativo al nivel de 5% ($r = 0,7$) (García Préchac, 1991)

2.2.2 Efecto del rastrojo del cultivo antecesor sobre las pérdidas y eficiencia en el uso del agua

La presencia de rastrojo genera un mejor balance de agua en el suelo. Este proporciona una disminución del impacto de las gotas de lluvia, una mayor agregación (mayor porosidad, dependiendo el tipo de suelo) y una menor tasa de evaporación de agua desde el suelo; generando mayor infiltración en el perfil y menores pérdidas tanto de agua como de suelo (Ernst, May y Schmith, Álvarez y Micucci, Singh y Malhi, citados por Franzluebbbers y Stuedemann, 2008). Como se mencionó anteriormente, el rastrojo en superficie influye sobre la evaporación de agua desde el suelo, como consecuencia de la reducción de la temperatura; impidiendo la difusión de vapor y

actuando como punto de condensación temporario del mismo. También reduce la velocidad del viento en la interfase con el suelo (Greb, 1966).

El mayor efecto que ejerce el residuo en superficie sobre la pérdida de agua por evaporación se da sobre la primera etapa, determinada por Bond y Willis (1971), Anchieri y Magrini (1981).

Aase y Tanaka (1986) determinaron que en parcelas con cobertura de rastrojo chato (horizontal) sobre el suelo, hay una baja contribución del viento al secado del mismo ya que la superficie del suelo está cubierta, lo que reduce su temperatura y aumenta la resistencia al movimiento del vapor. En las parcelas con rastrojo en pie y suelo desnudo, el viento debió afectar el secado por aumentar la turbulencia cerca de la superficie del suelo, mejorando el movimiento del vapor entre la superficie del suelo y el aire. Esto fue corroborado por Smika, Skidmore y Siddowai, Van Doren y Allmaras, citados por Fortin y Hamill (1994) quienes afirman que la geometría del rastrojo afecta directamente el contenido volumétrico de agua en el suelo, por los factores ya mencionados y agregan que el contenido volumétrico también es afectado indirectamente por efectos en la percolación, en la conductividad por capilaridad y temperatura del suelo.

Blevins et al., Jones et al., Lal, Moody et al., citados por Gauer et al. (1982) documentaron que el rastrojo aumenta la eficiencia del uso del agua al disminuir la evaporación y la escorrentía superficial, mediante el aumento de la infiltración y aumento de la nieve atrapada. Rusell, citado por Anchieri y Magrini (1981) confirma lo anteriormente mencionado y agrega que el cero laboreo también tiene efecto sobre la distribución del tamaño de los poros, lo que daría mayor capacidad de acumulación de agua (Unger, Gautzer y Blake, citados por Zhai et al. 1990, Musik et al., Unger y Wesse, citados por Unger 1994).

Debido a las temperaturas más bajas que se registran bajo SD y la disminución del flujo de radiación en la superficie del suelo, la tasa de evaporación disminuye, resultando en una mayor humedad del suelo (Blevins et al., Moody et al., Shanholtz y Lillard, citados por Gauer et al, 1982).

La amplitud térmica más pequeña de la siembra directa con residuo en superficie, pudo haber tenido un efecto positivo en la reducción de la evaporación (Izaurre et al., 1986)

Lafond et al. (1994) señalan que el uso de agua por el cultivo está directamente relacionado con la cantidad de agua disponible para el crecimiento del mismo. Diebert, citado por Lafond et al. (1994) a su vez indicó que diferencias en humedad del suelo durante la primavera no siempre reflejaron diferencias en el uso del agua por el cultivo de verano.

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

Toda práctica tendiente a minimizar las pérdidas de agua o el consumo de agua previo al período crítico, impactan positivamente en la eficiencia en el uso del agua (EUA) (Andrade y Sadras, citados por Álvarez y Micucci, 2003)

2.3 RADIACIÓN SOLAR

2.3.1 Características fotosintéticas del sorgo

El sorgo y maíz forman parte del grupo de las gramíneas tropicales, las cuales poseen la vía fotosintética C4 (Hatch et al., Hatch et al., citados por Lovett y Lazemby, 1979). Como tal, poseen las características típicas de plantas C4 (Lovett y Lazemby, 1979):

- 1) Alto punto de saturación de luz (Downes, citado por Lovett y Lazemby, 1979).
- 2) Alta temperatura óptima para fotosíntesis (Downes, citado por Lovett y Lazemby, 1979).
- 3) Alta velocidad de fotosíntesis (El Sharkawy et al., El Sharkawy, citados por Lovett y Lazemby, 1979).
- 4) Alta eficiencia en el uso de agua (El Sharkawy et al., citados por Lovett y Lazemby, 1979) como resultado de una elevada velocidad fotosintética, teniendo una alta resistencia estomática y una alta eficiencia de utilización del carbono absorbido (Medina y Olivera, 2012).
- 5) Una aparente ausencia de fotorrespiración (El Sharkawy et al., citados por Lovett y Lazemby, 1979).

El Sharkawy et al., citados por Lovette y Lazemby (1979) determinó que el sorgo re asimila el CO₂ endógeno. Las células de la hoja de sorgo presentan un pequeño diámetro medio y una alta proporción de células internas expuestas a la superficie, en comparación al volumen celular de otras especies.

La posición en que se encuentra la panoja de sorgo, trae como consecuencia que la fotosíntesis de la zona superior resulte la más importante. La contribución de las cuatro hojas superiores es de un 75% en promedio (Fischer y Wilson, citados por Fischer y Wilson, 1975). Esto junto a la alta eficiencia fotosintética de la panoja durante el llenado de grano, permiten que el cultivo de sorgo tolere altas poblaciones sin verse resentido el rendimiento por planta.

Fischer y Wilson (1975) estimaron la contribución de la panoja en el llenado de grano, determinando una importancia relativa de un 17% en promedio. También demostraron que la función de fotosíntesis de la panoja es de mayor eficiencia que la de las hojas y ello puede darse por la escasa distancia entre fuente y fosa.

Otra fuente de energía para el grano, que se da en ciertas situaciones es la translocación de carbohidratos desde el tallo. Temporalmente, los carbohidratos son depositados en el tallo como un “pool”, para desde allí dirigirse al grano. Este mecanismo es el que explica la constancia en el crecimiento del grano frente a condiciones adversas (Voss, citado por Siri, 2004). Goldsworthy y Tayler, citados por Fischer y Wilson (1975) observaron un decrecimiento en el peso del tallo luego de anthesis, debido a la transferencia de carbohidratos hacia el grano. Esto se debe a que en este período la tasa de crecimiento del grano es mayor a la velocidad de crecimiento del cultivo.

2.3.2 Efecto sobre el crecimiento

En todos los cultivos se busca maximizar cosechas, lo cual está ligado con la producción de materia seca total y a la eficiencia del proceso de partición que se expresa en el índice de cosecha (Evans, Villar, citados por Bernardis et al., 2002). El rendimiento en grano (Y) es función de la Producción de biomasa (BT) y la Partición de la biomasa en grano (IC). $Y=BT*IC$ (Viega y Mazzilli, 2012).

La producción de materia seca, está estrechamente vinculada con el aprovechamiento de la radiación incidente, de la capacidad del canopeo para interceptarla y la eficiencia del cultivo para transformarla (Andrade, citado por Bernardis et al., 2002). La intercepción de la radiación solar incidente que asegura la máxima tasa

de crecimiento del cultivo, se encuentra cuando el índice de área foliar IAF, aumenta hasta el IAF crítico, que permite captar el 95% de la radiación incidente (Bernardis et al., 2002).

$$BT = \int TCC \text{ donde } TCC = Rinc * ei * ec$$

Rinc= radiación incidente; ei= eficiencia de intercepción; ec= eficiencia de conversión (Viega y Mazzilli, 2012).

La eficiencia en el uso de la radiación (EUR), es la eficiencia de conversión de la radiación interceptada en materia seca (Monteith, citado por Curt et al., 1998). Esta depende de factores inherentes a las especies de plantas y otros factores, como las condiciones climáticas y las prácticas de manejo del cultivo. Debido a esto, EUR se puede aplicar a varios temas de investigación, entre ellos el análisis de crecimiento de las plantas, de previsión del rendimiento, la competencia de malezas y la estimación del potencial de producción de nuevos cultivos (Gosse et al., Kiniry, Allirand y Gosse, Manzanares et al., citados por Curt et al., 1998).

Los estudios sobre la fotosíntesis y rendimiento de los cultivos, han mostrado que la eficiencia teórica de la fotosíntesis bruta es de alrededor del 11% de la energía de la luz solar (base R_g); con respecto a la eficiencia de la fotosíntesis neta en plantas bajo condiciones óptimas de campo, el límite superior real se informó como menor a 5% (Good y Bell, citados por Curt et al., 1998).

Alcanzar rendimientos máximos estará en relación directa con una máxima fotosíntesis neta y que esta ocurra en un tiempo bastante prolongado, por lo que una mayor área foliar y duración de la misma en la etapa reproductiva podría conducir a un rendimiento más alto (Soto et al., citados por Hernández y Soto, 2013). Una mayor duración del área foliar implica un mayor aprovechamiento de la radiación solar, lo cual se manifiesta en un mayor crecimiento general de las plantas, mayor acumulación de materia seca y esto me llevará a alcanzar ese mayor rendimiento (Hernández y Soto, 2013).

La presencia de rastrojo reduce la relación rojo/rojo lejano (Oreja y de la Fuente, 2012), lo cual provocara cambios en las respuestas fotomorfogénicas, como consecuencia de la baja proporción de Pfr. En las gramíneas, los bajos niveles de Pfr promueven el crecimiento en longitud de las vainas foliares. Tanto en las gramíneas como en las dicotiledóneas, es frecuente observar que la dominancia apical se refuerza (mayor crecimiento en altura), con la consecuente reducción en la producción de

ramificaciones. Las hojas o los vástagos pueden adoptar una posición más erecta. Estos cambios favorecen la colocación de las hojas a mayor altura dentro del dosel vegetal y la menor producción de hojas a partir de ramificaciones basales, lo que disminuye la probabilidad de que el área foliar quede intensamente sombreada (Casal, 2008).

2.3.3 El albedo de una superficie

El albedo de una superficie, representa el valor medio de la reflectividad espectral hemisférica en el espectro solar, que incluye tanto la porción de radiación solar directa como difusa reflejada. En el caso de una superficie rugosa ideal, el albedo debería ser independiente de la dirección del haz primario de radiación. Sin embargo, para la mayoría de las superficies naturales, la fracción de la radiación directa y difusa reflejada depende de la dirección de iluminación, en definitiva depende de la posición del sol para el caso de la superficie terrestre (Carmona, 2013).

El albedo de la vegetación depende del tipo de vegetación pero también de la distribución y arquitectura de la cubierta (Ibáñez, citado por Carmona, 2013). Los valores medios de albedo para hierba seca y rastrojo, rondan en torno a los 0,15-0,20 mientras que para el caso de suelos grises y campos desnudos 0,15-0,25 (Brutsaert, citado por Carmona, 2013).

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, el rastrojo de trigo no absorbe el 100% de la radiación, sino que refleja una porción de la misma (15-20%).

2.4 RENDIMIENTO

2.4.1 Efecto del rastrojo del cultivo antecesor sobre el rendimiento del cultivo de segunda

En las zonas semiáridas, la presencia de rastrojo durante la temporada de crecimiento del cultivo de maíz, puede aumentar los rendimientos de este cultivo mediante la conservación de la humedad del suelo (Batchelder y Jones, Hoefler et al., Lal, Phillips et al., Whitfield, citados por Wicks et al., 1994). Wicks et al. (1994), trabajando en un ambiente similar y con la misma especie, determinó que la humedad del grano a la cosecha, mazorcas por planta y el peso de los granos, aumentaron al incrementar los niveles de rastrojo sobre la superficie. El rendimiento máximo se alcanzó con 5 t ha⁻¹.

En un experimento desarrollado en el sur de las grandes planicies de Nebraska, donde se conservó el rastrojo de trigo sobre la superficie del suelo durante el período de

crecimiento del cultivo de sorgo, el rendimiento de este último fue 9, 10 y 11% mayor, con 2, 4, 8 t ha⁻¹ respectivamente, respecto al tratamiento sin rastrojo (Unger, citado por Wicks et al., 1994). Hoefler et al., citados por Wicks et al. (1994) indican que un maíz cubierto con rastrojo de trigo rindió 17% más que un maíz al que se le retiró el rastrojo del trigo al momento de su siembra.

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

A diferencia de todo lo anteriormente nombrado, Opoku y Vyn (1996), trabajando en maíz, encontraron que para uno de los años en el cual se llevó a cabo el experimento (1994), bajo siembra directa, la eliminación de todos los residuos de trigo resultó en rendimientos de grano más altos respecto a los tratamientos en los cuales no se retiró. En contraposición, en 1995 las diferencias en el rendimiento de grano entre los tratamientos bajo este sistema de labranza, fueron insignificantes probablemente debido a la menor cobertura de rastrojo de trigo durante la temporada de crecimiento del cultivo de maíz.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC), Facultad de Agronomía, departamento de Paysandú durante el período diciembre-mayo de 2013-2014.

El experimento se llevó a cabo sobre la Unidad de suelo San Manuel, formación Fray Bentos según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay escala 1:1.000.000

Se sembró un cultivo de sorgo el día 5/12/2013 sobre rastrojo de trigo, el cual rindió 5066kg/ha, con una sembradora de siembra directa. La distancia entre hilera fue de 50cm y se buscó una densidad efectiva de 300 mil pantas/ha. La semilla utilizada fue del híbrido de sorgo granífero MS108.

El día 9/12/2013 además de establecerse los tratamientos, se aplicó una fertilización nitrógeno-fosfatada a razón de 200kg de Urea/ha y 100kg 7-40+S.

El 14/1/2014 se realizó una refertilización nitrogenada en la cual se aplicó una dosis de 150 kg Urea/ha.

3.1 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento incluyó tres tratamientos en que se manipuló la cantidad de rastrojo de trigo en superficie:

Sin rastrojo (SR): suelo descubierto, para alcanzar este objetivo se trató de eliminar el rastrojo mediante corte.

Normal (R): volumen de rastrojo normal.

Doble de rastrojo (2R): doble de rastrojo que el Normal. Para lograr esto, se colocó en estas parcelas el rastrojo que se cortó en los tratamientos Sin Rastrojo.

El diseño experimental empleado fue de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones para cada tratamiento. Cada parcela fue de 8m de largo y 3m de ancho.

Los cortes y el intercambio de rastrojo entre tratamientos se realizaron 5 días luego de la siembra, con el objetivo de que esto no afectara la calidad de siembra en las diferentes situaciones.

Dentro de cada parcela, en tres surcos consecutivos se delimitaron 5m de largo (15m lineales), donde se identificaron 15 plantas (5 plantas/surco) sobre las cuales se realizaron mediciones de algunas de las variables a emplearse en el análisis.

3.2 DETERMINACIONES

3.2.1 Datos climáticos

Los datos de precipitaciones, temperatura ambiental y radiación, fueron obtenidos de la estación meteorológica automática ubicada en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni.

3.2.2 Mediciones efectuadas en el suelo

a) Temperatura: 7 días luego de la siembra se colocaron termómetros en el suelo a una profundidad de 3cm, donde se encontraba la semilla de sorgo. Los registros de temperatura fueron cada 2 horas.

b) Humedad gravimétrica: a los 7, 14, 21 y 39 días post-siembra. En cada parcela se tomaron cinco muestras de suelo de 0 – 8 cm, con las cuales se elaboró una muestra compuesta. Estas fueron secadas en estufa a 60°C durante 48 horas.

3.2.3 Mediciones efectuadas en la planta

a) Desarrollo fenológico: a los 14, 21 y 39 días post-siembra. Se midió mediante la utilización de la escala de HAUN, la cual se determina sobre la última hoja totalmente desarrollada (lígula visible). En la última medición realizada, 80 días posteriores a la siembra, se utilizó la escala desarrollada por Vanderlip (Vanderlip y Reeves, 1972). Esta medición como la altura de planta se realizó sobre las 15 plantas identificadas en cada parcela, tres veces.

b) Altura de planta: a los 14, 21 y 39 días post-siembra. Se midió desde la base del tallo hasta el extremo de la última hoja en desarrollo.

c) Peso de planta: a los 40 y 78 días post-siembra. Se cortaron al ras del suelo las plantas comprendidas en 1 m lineal y se formaron fardos. Posteriormente se tomó una sub-muestra de cada uno, se trozó y se colocó en estufa a 60°C hasta peso constante.

d) Implantación: 12 días post siembra se contó el número de plantas en los 15m lineales delimitados en cada parcela.

e) Rendimiento: la cosecha se realizó de forma manual el 7/5/2014. Se cortaron todas las plantas de los 15m lineales delimitados en cada parcela, se pesaron los fardos y luego se realizó un despanojado. En el laboratorio a las panojas se las clasificó en tres categorías por su tamaño relativo dentro de cada tratamiento (chicas, medianas y grandes) y se midió la longitud de cada una de ellas. Las panojas fueron trilladas en una cosechadora estacionaria, separadas por categoría de tamaño, estimando así rendimiento y sus componentes: peso de mil granos y peso promedio de panoja.

3.2.3 Otras mediciones

a) Rastrojo en superficie: 5 días post-siembra se tomaron 2 muestras por parcela con un cuadrado de 30cm x 30cm, donde se cortó el rastrojo al ras. Posteriormente se colocó en estufa determinándose así la materia seca del mismo y a partir de esta, obtener la MS de rastrojo/ha.

b) Temperatura del aire: los termómetros que se encontraban bajo el suelo, a partir del 20 de enero se colocaron en la base de algunas plantas con el objetivo de obtener datos de la temperatura ambiente.

c) Área foliar: a los 14, 21, 39 y 85 días post-siembra. Para su determinación se utilizó el instrumento LAI 2000. Para obtener el valor de área foliar del cultivo en cada tratamiento se le restó al valor de LAI total, el LAI del rastrojo (testigo = zona de la parcela sin presencia de plantas)

d) Porcentaje de cielo visible: al igual que para el área foliar, para su determinación se utilizó el instrumento LAI 2000, realizándose el mismo número de mediciones, en las mismas fechas.

Con la información proporcionada por los termómetros, se calculó la suma térmica para tres momentos del ciclo del cultivo. Para su realización se utilizó como Temperatura Base 15°C (Corsi, 1982). Esta comienza a partir de los 7 días post-siembra ya que fue cuando se colocaron los termómetros.

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la realización del análisis se utilizó el modelo experimental descrito a continuación, además de utilizarse para algunas de las variables un modelo mixto.

Para la comparación de medias se utilizó el test de LSD Fisher.

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

Y_{ij} = rendimiento del cultivo.

μ = Media general.

α_i = Efecto del nivel de rastrojo sobre la superficie del suelo.

β_j = Efecto del j-ésimo bloque.

ϵ_{ij} = Error experimental.

$i= 1, 2, 3$

$j= 1, 2, 3, 4$

Supuestos al modelo:

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

Supuestos a los errores experimentales:

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

Al medir una variable sobre la misma unidad experimental en distintos momentos de tiempo se obtienen mediciones seriales que se caracterizan por estar correlacionadas ya que las mismas acarrearán un mismo efecto de unidad experimental. El procedimiento de recolección de información sobre la misma unidad produce una serie de medidas repetidas sobre cada unidad. Para el análisis de estas variables se utiliza el modelo de medidas repetidas en el tiempo que en este caso el mismo presenta estructura autorregresiva de orden 1 entre los errores de la misma parcela, varianza residual diferente en los distintos tiempos y efecto aleatorio de parcela.

En este tipo de estudios se reconoce el factor tiempo como aquel con potencialidades de introducir variabilidad entre las observaciones registradas dentro de la misma unidad.

Hipótesis a probar en un análisis de mediciones repetidas en el tiempo con un factor tratamiento agrupando las observaciones son: 1) no hay interacción tiempo x tratamiento.

2) no hay efecto tiempo.

3) no hay efecto tratamiento o

grupo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA

4.1.1 Precipitaciones

Si consideramos las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo, las mismas superaron ampliamente el consumo de agua, a partir del cual, el índice de cosecha del sorgo se hace independiente de la evapotranspiración total, que es de 450 mm. (Siri, 2004).

Un mes previo a la siembra, las precipitaciones acumuladas fueron de 163 mm, por lo que es de esperar que el contenido de agua en el suelo (almacenaje) al momento de la siembra sea elevado. Teniendo en cuenta la relación entre las distintas etapas de crecimiento del cultivo de sorgo y el consumo diario de agua, podemos decir que en el período de mayor absorción de agua (envainamiento-floración) (Carrasco, citado por Siri, 2004) las precipitaciones fueron suficientes para satisfacer los requerimientos del cultivo (Figura No.1). Considerando lo anteriormente mencionado, se puede determinar que en este cultivo y para este año, las precipitaciones no fueron un limitante importante del rendimiento.

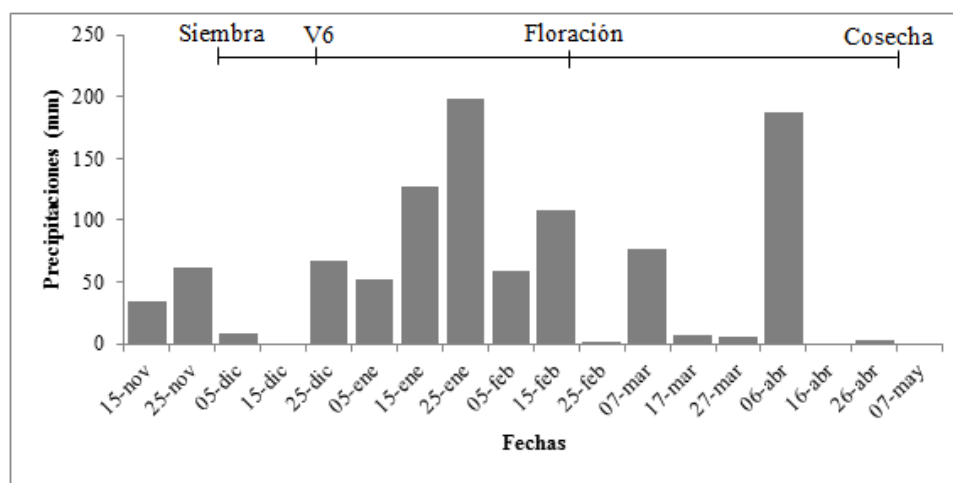


Figura No.1. Precipitaciones para el período noviembre-mayo del año 13/14 a intervalos de tiempo de 10 días.

4.1.2 Temperatura

Las temperaturas fueron adecuadas para el crecimiento y desarrollo del cultivo ya que al ser siembra de segunda, la temperatura mínima del suelo estuvo por encima de

la temperatura base de germinación (10°C). Según Amarante et al., citados por García Préchac (1998) en las condiciones de Uruguay se han observado fallas en cultivos de sorgo sembrados sin laboreo a medidos de octubre, no ocurriendo lo mismo al realizarse la siembra un mes más tarde.

En lo que respecta a la temperatura media, se puede observar que el mes de diciembre fue más cálido respecto a la serie histórica (Figura No.2). Teniendo en cuenta esto, pudo haber ocurrido un aumento en la tasa de desarrollo lo cual haya provocado una reducción en el largo de las etapas vegetativas. Los meses de febrero y marzo, fueron más frescos pudiendo haber afectado de forma positiva principalmente la etapa de llenado de grano.

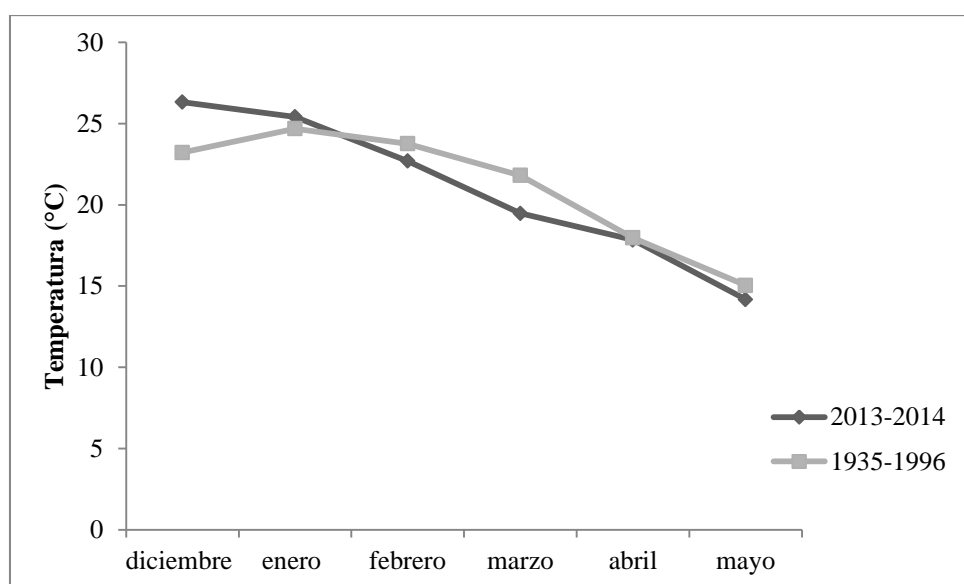


Figura No. 2. Temperatura media para una serie histórica y período experimental Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni.

4.1.3 Radiación

La importancia de la radiación en sorgo radica en dos aspectos. En primer lugar por su condición de especie C4 y por otra parte porque el rendimiento en grano depende en última instancia de la fotosíntesis durante el llenado de grano. La conclusión a la que Carrasco, citado por Siri (2004) arriba con relación a la disponibilidad de este factor es que el Uruguay tiene la máxima radiación posible compatible con agricultura de secano. Teniendo en cuenta esto, a pesar que se observan variaciones en el período experimental

respecto a la serie histórica (Figura No.3) podríamos decir que estas diferencias no afectaron el crecimiento del cultivo, como la concreción del rendimiento.

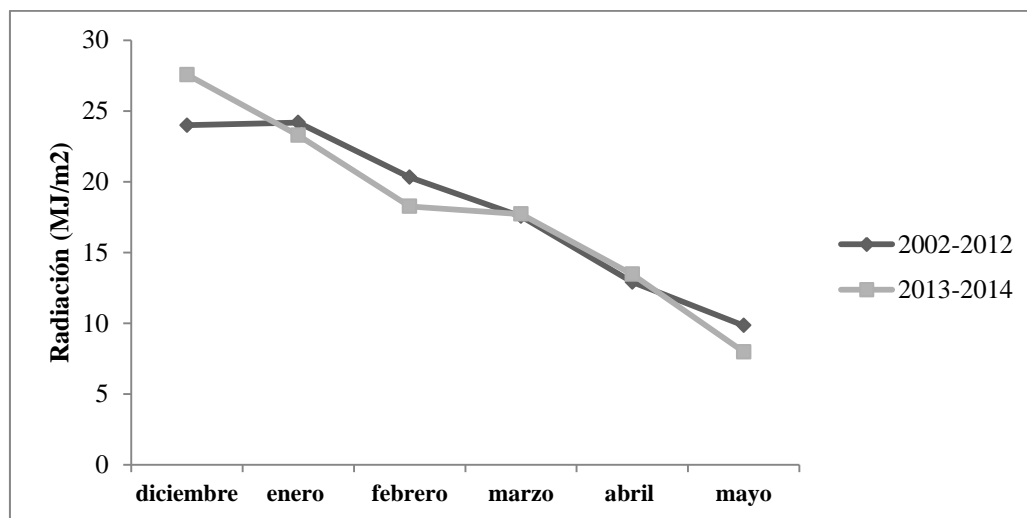


Figura No. 3. Radiación media para una serie histórica y período experimental Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni.

4.2 EFECTO DEL RASTROJO DEL CULTIVO ANTECESOR SOBRE EL AMBIENTE

El cuadro No.1 muestra las diferentes cantidades de rastrojo de trigo que presentó cada tratamiento. Los mismos tuvieron diferentes efectos sobre el ambiente en que se desarrolló el cultivo de sorgo, pudiéndose observar esto en los puntos contiguos.

Cuadro No.1 Cantidad de rastrojo del cultivo de invierno antecesor sobre superficie, según tratamiento.

	Rastrojo (kgMS/ha)
SR	1801 c
R	4693 b
2R	9140 a
P(0,05)	<0,0001
DMS	1374,6
CV (%)	12,2

4.2.1 Humedad

En el Cuadro No.2 presenta el contenido gravimétrico de humedad para los cuatro momentos de muestreo. En el único momento en que no hubo diferencias en el contenido de humedad entre los diferentes tratamientos fue a los 7 días post-siembra. En las posteriores determinaciones siempre el tratamiento Doble de rastrojo (2R) presentó mayor contenido de humedad que el Sin rastrojo (SR). A diferencia de esto, el Normal (R) fue significativamente menor que 2R a los 39 días post-siembra.

Estos resultados coinciden con la bibliografía consultada, donde la presencia de rastrojo genera un mejor balance de agua en el suelo, proporcionando una disminución del impacto de las gotas de lluvia, una mayor agregación (mayor porosidad, dependiendo el tipo de suelo) y una menor tasa de evaporación de agua desde el suelo; generando mayor infiltración en el perfil y menores pérdidas tanto de agua como de suelo (Ernst, May y Schmith, Álvarez y Micucci, Singh y Malhi, citados por Franzluebbbers y Stuedemann, 2008). La menor evaporación se da como consecuencia de la reducción de la temperatura y del flujo de radiación en la superficie del suelo (Blevins et al., Moody et al., Shanholtz y Lillard, citados por Gauer et al., 1982). Sumado a esto, el rastrojo impide la difusión de vapor, actuando como punto de condensación temporario del mismo y reduce la velocidad del viento en la interface con el suelo (Greb, 1966).

Cuadro No.2. Humedad gravimétrica del suelo de 0-8cm según momento de evaluación y tratamiento.

	Momentos			
	7 dps	14 dps	21 dps	39 dps
SR	24,4 a	18,6 b	15,8 b	24,7 b
R	26,0 a	21,8 ab	20,8 ab	27,3 b
2R	26,5 a	26,1 a	25,9 a	31,7 a
P(0,05)	0,438	0,0476	0,0096	0,0029
DMS	4,0	5,7	5,2	2,9

Dps: Días post-siembra

4.2.2 Temperatura

Este factor es el que presenta mayor influencia sobre el crecimiento y desarrollo inicial de los cultivos gramíneas. En la Fig. No.4 se presenta la evolución de la temperatura medida en el experimento, en función del tratamiento y las precipitaciones.

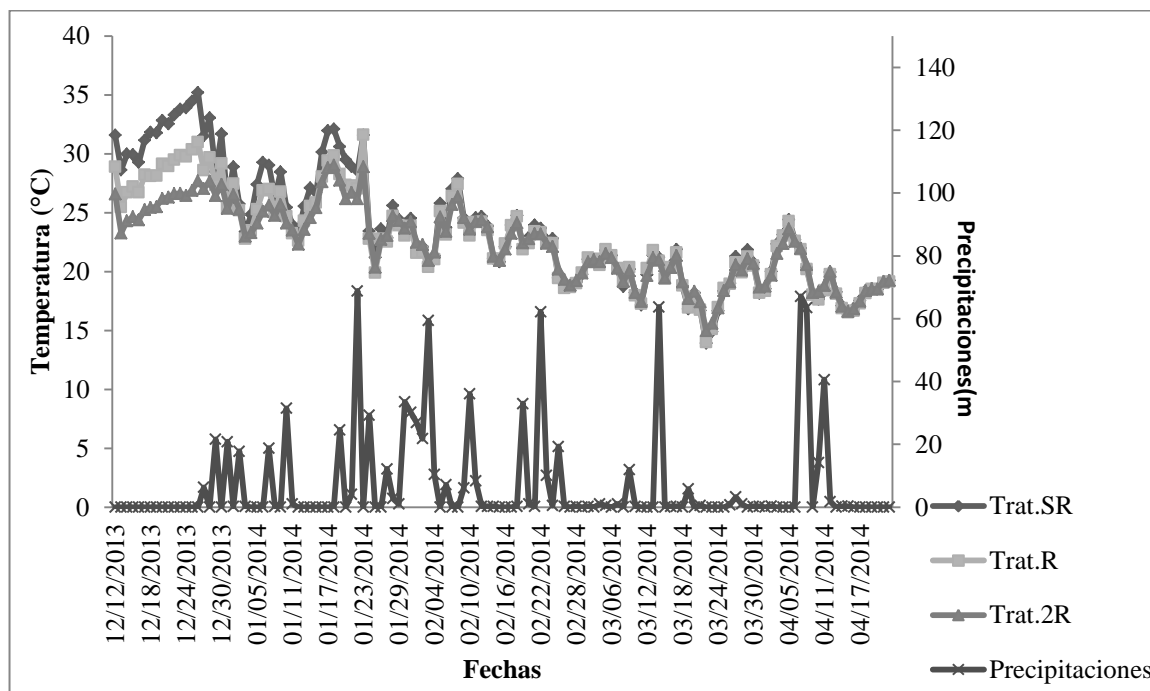


Figura No.4. Temperatura media diaria registrada según tratamiento y precipitaciones diarias para el período diciembre-marzo 2013-14.

SR mantuvo temperaturas del suelo superiores al comienzo del ciclo respecto a los otros dos tratamientos (Figura No. 4). Siendo las mismas superiores a las temperaturas óptimas para el crecimiento del sorgo (25-30°C). Existió un efecto de enfriamiento del ambiente como consecuencia de las precipitaciones, siendo mayores las caídas en el Trat. SR, pero también posteriormente al evento, fue el tratamiento que aumentó su temperatura más rápidamente. A diferencia de este, 2R fue el que mantuvo temperaturas más bajas y con variaciones no tan marcadas, pero estas se encontraron dentro del rango óptimo. El tratamiento R presentó un comportamiento intermedio entre SR y 2R.

A partir del 25 de enero de 2014, donde las plantas de trat. SR presentaban 12 hojas totalmente expandidas, R 11 hojas y 2R entre 9 y 10 hojas (estimado a partir de suma térmica y último registro en que se utilizó escala de HAUN, 13/1/2014), todos los tratamientos se comportaron de la misma forma (en este momento los termómetros ya estaban sobre la superficie), lo cual puede atribuirse a que, cuando el cultivo se encuentra en estados avanzados, el sombreado del suelo por parte del canopeo determina que las temperaturas del suelo se equiparen (Wijk et al. 1959, Gauer et al. 1982)

Los resultados obtenidos coinciden con lo observado por Gauer et al. (1982), Aston y Fischer (1986) quienes demostraron que a mayor volumen de rastrojo en superficie, el suelo absorbe menos energía, lo que determina las menores temperaturas diarias. A esto le agregan que las pérdidas de energía son menores en suelo bajo siembra directa los cuales están protegidos por el rastrojo. Estas menores temperaturas diarias bajo SD son consecuencia de menores temperaturas máximas e iguales temperaturas mínimas en relación al laboreo convencional (Gauer et al., 1982).

No hubo diferencias significativas entre los tratamientos en la suma térmica acumulada hasta los 21, 80 y 138 días pos siembra (Cuadro No.3). Pero si se pudo observar una tendencia clara y consistente, donde SR presentó mayor suma térmica acumulada en los tres momentos, respecto a R y 2R. Esta podría ser la explicación a la diferencia en los estado fenológico de los tratamientos en dichos momentos (Figura No.5 y Cuadro No.8). Si consideramos para sorgo un filocrono de 50°Cdías y tenemos en cuenta las sumas térmicas acumuladas, podemos observar que el No. de hojas en cada momento se corresponden con los grados celsius acumulados en dichos períodos. Como resumen los tratamientos con mayor volumen de rastrojo tuvieron menor temperatura, lo cual me llevó a una menor suma térmica y por ende un estado de desarrollo menos avanzado.

Fortin y Pierce (1990) determinaron que el mantillo de paja retrasó significativamente el desarrollo en maíz, en comparación con un control de suelo desnudo. Opoku y Vyn (1996), obtuvieron resultados similares, donde bajo siembra directa, cuando se retiró el rastrojo de trigo, se redujo el número de días para alcanzar el 50% de emisión de estigmas respecto a los tratamientos en los cuales permaneció el rastrojo sobre la superficie. En nuestro caso, en SR el sorgo alcanzó las 6 hojas a los 21 días post-siembra. Considerando la temperatura media del suelo para los diferentes tratamientos y un filocrono de 50°Cdía, el tratamiento R debió alcanzar este estado fenológico 6 días posteriores y 2R 11 días después.

Cuadro No.3. Suma térmica a partir de los 7 días post-siembra para tres momentos según tratamiento (°Cdías).

Momentos			
	21 dps	80 dps	138 dps
SR	271,6	888,4	1145,6
R	216,6	779,1	1032,0
2R	173,3	718,1	976,2
P(0,05)	0,095	0,1122	0,157
DMS	105,1	177,2	212,3

4.2.3 Radiación

Al inicio de la estación de crecimiento del cultivo de sorgo, el rastrojo de trigo redujo significativamente el porcentaje de cielo visible, lo cual modifica la radiación que efectivamente llega al suelo y con ello, la radiación a interceptar por el cultivo en la fase inicial del crecimiento (Cuadro No.4 y No.5). A los 14 y 23 días post-siembra el porcentaje de cielo visible fue de 75 y 63% en el tratamiento SR respectivamente. La presencia de rastrojo (R y 2R) provocó reducciones que van desde 19% a 28% del cielo visible (Cuadro No.5). Por tanto SR tuvo una mayor proporción de cielo visible en el inicio del ciclo, diferencias que desaparecieron cuando el cultivo alcanzó estados más avanzados del desarrollo (41 dps, SR y R presentaron 10 hojas totalmente expandidas, mientras que 2R presentó 9 hojas).

Considerando que el rastrojo absorbe entre un 80-85% de la radiación incidente (Brutsaert, citado por Carmona, 2013) y la reducción del porcentaje de cielo descubierto en los tratamientos con rastrojo, se puede suponer que la radiación incidente sobre la planta será menor en estos casos, llevando a una menor TCC (Viega y Mazzilli, 2012). Al reducirse la tasa de crecimiento es de esperarse una menor extensión foliar, lo que me llevara a un menor IAF.

Cuadro No.4. Porcentaje de cielo visible según tratamiento (rastrojo+cultivo)

Momentos				
	14 dps	23 dps	41 dps	85 dps
SR	0,75 a	0,63 a	0,09 a	0,02 a
R	0,53 b	0,44 b	0,06 a	0,02 a
2R	0,47 b	0,4 b	0,09 a	0,03 a
P(0,05)	0,0153	0,0243	0,2466	0,3079
CV	16,86	18,62	29,02	46,61

Dps: Días post-siembra

Cuadro No.5. Reducción del porcentaje de cielo visible en relación al Trat. SR (efecto rastrojo).

Momentos				
	14 dps	23 dps	41 dps	85 dps
R	0,22	0,19	0	0
2R	0,28	0,23	0	0

Dps: Días post-siembra

4.3. EFECTO DEL RASTROJO DEL CULTIVO ANTECESOR SOBRE EL CULTIVO DE SORGO

4.3.1 Efecto del rastrojo sobre la implantación

No hubo diferencias significativas en la población lograda en los diferentes tratamientos (Cuadro No.6) e incluso no hubo correlación entre la cantidad de rastrojo y el No. de plantas logradas a los 12 días post-siembra (Coef. Correlación 0,14). Sin embargo, SR presentó una tendencia a lograr una población superior respecto a los otros dos tratamientos. Además en general, la población lograda fue relativamente baja, ya que el objetivo era de 300 mil pl/ha. Si consideramos los factores que pueden haber afectado la misma, las precipitaciones podríamos descartarlas ya que, como se mencionó anteriormente, las mismas permitieron niveles de humedad adecuados. En cuanto a la temperatura del suelo también se podría descartar ya que al ser un cultivo de segunda, sembrado a comienzo de diciembre, las temperaturas mínimas del suelo se encuentran por encima de la temperatura base de germinación (10°C) e incluso superando las óptimas (entre 18 y 21°C) (Ernst, citado por Siri, 2004). Sumado a esto, el movimiento de rastrojo entre parcelas se realizó 7 días post-siembra por lo que las condiciones de germinación fueron iguales para todos los tratamientos. Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, tal vez la baja población lograda en todos los tratamientos se debió a la parte operativa de la siembra y en lo que respecta a 2R también influyó el agregado de residuo sobre la superficie lo cual provocó cambios en el ambiente.

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

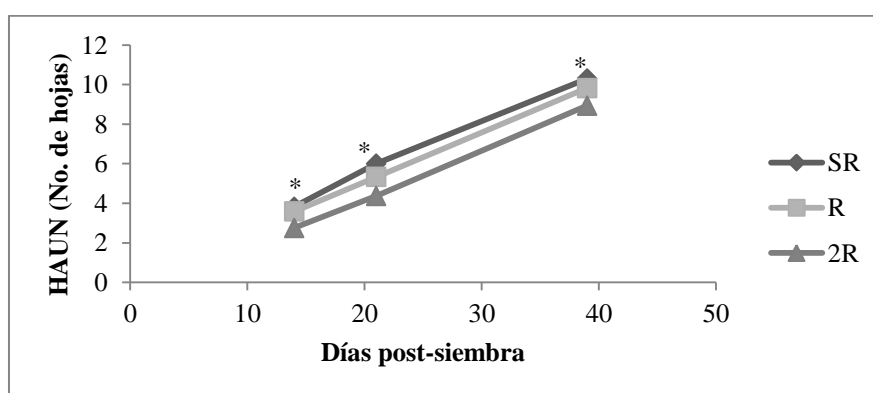
Cuadro No.6. Población lograda del cultivo de sorgo según tratamiento.

	Población lograda (pl/ha)
SR	179.333 a
R	109.000 a
2R	124.666 a
P(0,05)	0,1973
DMS	109199,5
CV (%)	36,6

4.3.2 Efecto del rastrojo sobre el desarrollo del cultivo de sorgo

Como se puede observar en el Cuadro No.6, el p-valor de tratamiento fue menor a 0,0001 por lo que se rechazó hipótesis nula, lo que nos indica que hubo diferencias en la tasa de desarrollo de las plantas entre los diferentes tratamientos. También se puede observar que no hubo interacción Tratamiento x Fecha (p-valor = 0,0567). La Figura No.5 muestra claramente lo anteriormente nombrado ya que SR y R presentaron un desarrollo similar, habiendo diferencia significativa a favor del primero únicamente a los 21 días post-siembra. También se determinó que 2R siempre fue el que peor se comportó, presentando en todos los registros un desarrollo más retrasado respecto a SR y R (Apéndice No. 1). A los 80 días post-siembra, cuando se midió el desarrollo utilizando la escala de Vanderlip (Cuadro No.8) se determinó que el comportamiento de los diferentes tratamientos fue similar a lo registrado en fechas previas.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Fortin y Pierce (1990), Opoku y Vyn (1996), quienes encontraron que bajo siembra directa, el mantillo de paja retrasó significativamente el desarrollo en maíz, en comparación con un control de suelo desnudo. A pesar que en este caso únicamente se observó diferencias significativas entre SR y R a los 21 días pos-siembra, teniendo en cuenta las restantes mediciones, se pudo observar una clara tendencia hacia un retraso en el desarrollo de este último. A diferencia de lo anterior 2R sí presentó un marcado retraso en su desarrollo en todos los registros. Estos resultados pueden ser consecuencia de las menores temperaturas del suelo (Power et al., 1970).



* Diferencia significativa

Figura No.5. Efecto de la cantidad de rastrojo de trigo sobre el suelo en el número de hojas verdaderas por planta (Escala Haun).

Cuadro No.7. Pruebas de hipótesis secuenciales para número de hojas verdaderas por planta (Escala Haun)

	numDF	denDF	F-valor	p-valor
(Intercept)	1	18	16828,8	<0,0001
BLOQUE	3	6	2,3	0,1738
TRATAMIENTO	2	6	111,6	<0,0001
Fecha	2	18	1445,6	<0,0001
TRATAMIENTO:Fecha	4	18	2,8	0,0567

Cuadro No.8. Estado de desarrollo (escala de Vanderlip) de las plantas según tratamiento a los 80 días post-siembra.

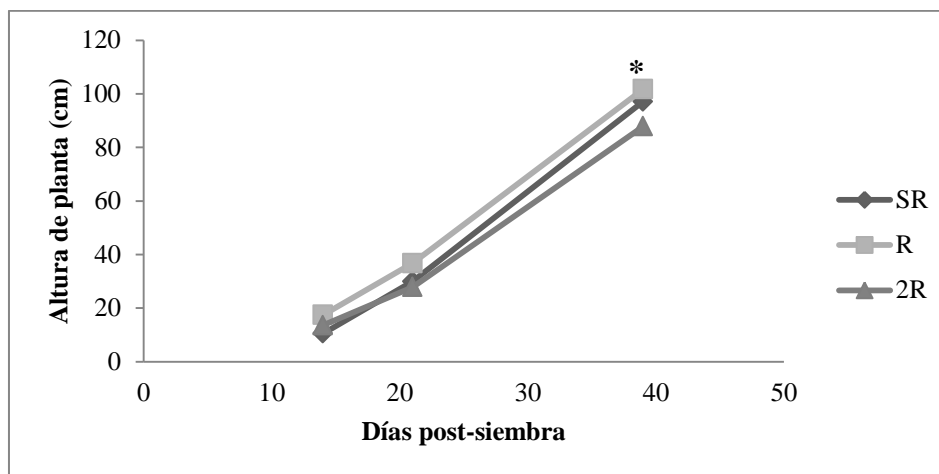
Momento	
	80d post-siembra
SR	6 a
R	6 a
2R	5.7 b
P(0,05)	0,0048

4.3.3 Efecto del rastrojo sobre el crecimiento del cultivo de sorgo

Realizado el análisis de medidas repetidas en el tiempo para la variable altura de planta, se determinó que hubo diferencias significativas entre los distintos tratamientos (p -valor = 0,0001) y también interacción Tratamiento x fecha (p -valor = 0,021). Como se puede observar en la Figura No.6, donde se determina la evolución en altura de las plantas de los diferentes tratamientos, SR pasó de ser el peor en el primer registro a ser el mejor a los 39 días post-siembra. A diferencia de esto, R fue el que mejor se comportó en todas las mediciones efectuadas y en lo que respecta a 2R, se puede observar que en el último registro, éste fue el que peor se comportó.

Estos resultados no coinciden con los encontrados por Hoefler et al. (1981), Wicks et al. (1994) ambos trabajando en clima semiárido y con maíz. Estos investigadores determinaron que las plantas con mayor altura en etapas iniciales de desarrollo, fueron las que crecieron en parcelas en las cuales el rastrojo de trigo se había removido al momento de la siembra del cultivo de verano. Esto no se corresponde con lo obtenido ya que las plantas que se comportaron de mejor forma a lo largo del tiempo fueron las del Trat. R. A diferencia de lo anterior, estos resultados coincide con lo

determinado por Casal (2008), quien menciona que bajas proporciones de fitocromo rojo lejano (Pfr), como consecuencia de baja relación rojo/rojo lejano, provocan tanto en gramíneas como en dicotiledóneas que la dominancia apical se refuerce (mayor crecimiento en altura), con la consecuente reducción en la producción de ramificaciones, adoptando las hojas o los vástagos una posición más erecta (Trat. R).



* Diferencia significativa

Figura No.6. Evolución de la altura de planta según tratamiento.

En lo que respecta a la evolución del índice de área foliar para cada tratamiento se pudo determinar que no hubo diferencias significativas entre tratamientos (p -valor = 0,3328). Tampoco hubo interacción Tratamiento x Fecha (p -valor = 0,7633).

Según la bibliografía revisada, sería esperable encontrar menor índice de área foliar (IAF) en aquellas situaciones con alta cantidad de rastrojo. Por un lado debido a la menor tasa de desarrollo como consecuencia de las menores temperaturas, lo cual llevara a un menor número de hojas en un cierto momento, en relación a un tratamiento con suelo desnudo (Gauer et al. 1982, Fortin y Pierce 1990, Opoku y Vyn 1996). Sumado a esto, las bajas temperaturas del suelo provocarían reducción de la extensión foliar, como consecuencia de un aumento de la concentración de carbohidratos en hoja que me llevarían a una reducción de la fotosíntesis (Azcón-Bieto, citado por Aston 1987, Aston 1987). A pesar de lo anteriormente mencionado, en este trabajo no hubo diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los momentos, pero en la Figura No.7 se puede observar una tendencia a los 39 días post-siembra, donde 2R presentó menor área foliar respecto a los otros dos tratamientos, lo que en cierta forma coincide con lo reportado en la bibliografía revisada.

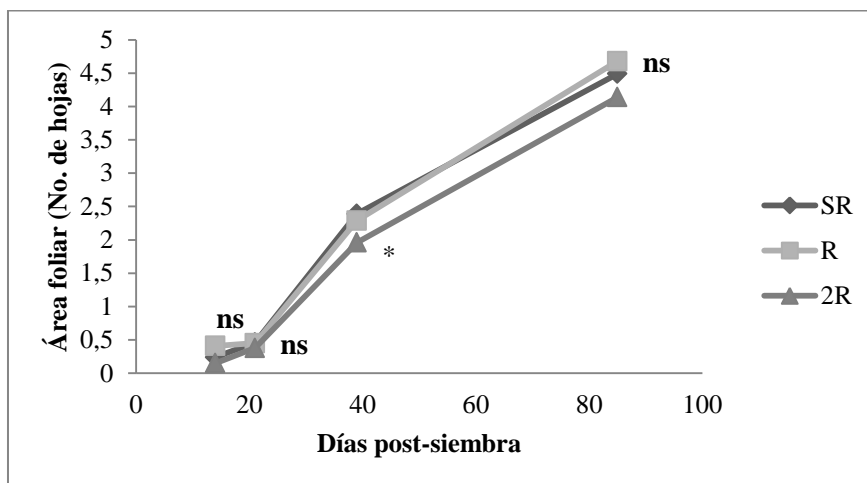


Figura No.7. Evolución del IAF según tratamiento.

Según la bibliografía revisada, Wicks et al. (1994) trabajando en clima semiárido, determinó que por las mejores condiciones de humedad que se dan bajo el rastrojo, el contenido de materia seca de tallo y hojas del cultivo de maíz, aumentaron a medida que aumentó el nivel de rastrojo. A diferencia de esto, en este trabajo no hubo diferencias significativas entre tratamientos en el peso de planta a los 40 y 78 días post-siembra (Cuadro No.9), a pesar de que sí se pudo observar diferencias significativas entre SR y R respecto a 2R en altura de planta a los 40 días post-siembra (Apéndice No.2).

Cuadro No.9. Peso de planta (g) según tratamiento a los 40 y 78 días post-siembra.

	Momento	
	40 dps	78 dps
SR	13,4	68,8
R	15,1	99,9
2R	13,7	92,4
P(0,05)	0,4829	0,2354
DMS	3,5	41,1
CV (%)	14,5	27,3

Dps: Días post-siembra

4.3.4 Efecto del rastrojo sobre el rendimiento en grano y sus componentes

Realizado el análisis de varianza, se pudo determinar que no hubo diferencias significativas entre los rendimientos de los diferentes tratamientos (P-valor = 0,9845) (Figura No.8). Estos resultados no se corresponden con los encontrados por Unger, Batchelder y Jones, Hoefler et al., Lal, Phillips et al., Whitfield, citados por Wicks et al. (1994), donde todos, trabajando en clima semiárido y en maíz, determinaron que la presencia de rastrojo permitió obtener rendimientos más elevados respecto a los tratamientos sin rastrojo. Tampoco se corresponden con los resultados obtenidos por Opoku y Vyn (1996) quienes trabajando en maíz, determinaron que la eliminación de todos los residuos de trigo, resultó en rendimientos de grano más altos respecto a los tratamientos en los cuales no se retiró.

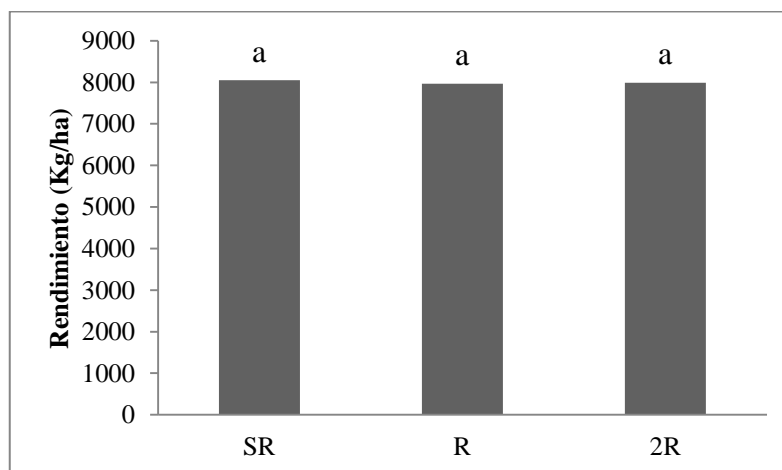


Figura No.8. Rendimiento de sorgo según tratamiento.

Los rendimientos se ubicaron en torno a los 8000kg/ha, superando ampliamente el promedio obtenido en la evaluación nacional de cultivares para este cultivar (6288kg/ha, zafra 2003/04). Este valor ya nos anticipa que se dieron condiciones buenas para el cultivo, donde no hubieron limitantes severas.

La presencia de rastrojo (R y 2R), redujo la temperatura del suelo en las etapas iniciales del cultivo, pero las mismas se mantuvieron dentro del rango óptimo para el crecimiento del cultivo de sorgo (25-30°C). Por lo tanto podemos determinar que este factor no fue una limitante para ninguno de los tratamientos.

Durante el período crítico (8/2 al 10/3/2014) las precipitaciones fueron de 194mm, siendo el requerimiento de este cultivo de 200-220mm en dicho período

(Rameau y Rosa, 2013). Diez días previos a este período las precipitaciones fueron de 189,4mm por lo que el suelo ya se encontraba con buena disponibilidad de agua. Teniendo todo esto en cuenta podemos decir que el factor agua no fue una limitante. En lo que respecta a la fertilización a la siembra y refertilización, estas no se consideran limitantes para el rendimiento.

El índice de área foliar medido en floración para todos los tratamientos fue mayor a 4, siendo este un valor alcanzable de referencia determinado por Siri (2004). A través de esto se deduce, que el cultivo se encontró en un estado óptimo para interceptar la máxima radiación incidente y maximizar su tasa de crecimiento en este período; pudiéndose observar ésto en los elevados rendimientos obtenidos.

En cuanto al peso de grano, solo se encontró diferencia a favor del tratamiento con mayor cantidad de rastrojo (2R) en las panojas clasificadas como grandes (Cuadro No.10).

Cuadro No. 10. Peso de mil granos (g) de sorgo según tamaño de panoja y tratamiento.

Tamaño de panoja			
	CHICO	MEDIO	GRANDE
SR	33,7	33,2	31,9 b
R	32,7	32,4	33,0 ab
2R	34,5	32,2	35,3 a
P(0,05)	0,2489	0,4673	0,045

En parte, estos resultados coinciden con los obtenidos por Wicks et al. (1994) trabajando con maíz en un clima semiárido (Nebraska) y Serrentino et al. (2014) trabajando con sorgo en el mismo sitio donde se llevó a cabo este experimento. Ambos encontraron que en los tratamientos con mayor volumen de rastrojo sobre la superficie del suelo, el peso de mil granos fue mayor respecto a los demás tratamientos.

Serrentino et al. (2014) determinaron que es posible que la mayor cantidad de rastrojo en superficie para el tratamiento de nulo retiro, haya mantenido el contenido de agua en suelo más estable, lo cual puede haber provocado un mejor llenado de grano, siendo lo que explicaría las diferencias en peso alcanzadas. A diferencia de lo anterior, en este caso, la diferencia en el peso de mil granos se debió a un efecto de compensación ya que la población lograda en el tratamiento 2R fue menor respecto a SR.

En lo que respecta al número total de panojas, panojas/planta y número de panojas según tamaño, se puede observar que no hubo diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro No.11). Pero si se pudo observar una tendencia a que los tratamientos con menor población lograda, presentaron un mayor número de panojas/planta lo cual nos estaría mostrando nuevamente un efecto de compensación (macollaje). Wicks et al. (1994) trabajando en Nebraska con maíz, determinaron que el número de mazorcas por plantas aumentó con el aumento del nivel de rastrojo sobre superficie.

Cuadro No.11. Número total de panojas, panojas/planta y número de panojas según tamaño para cada tratamiento por m².

	No. total de panojas/m ²	Panojas/planta	No. de panojas según tamaño/m ²		
			CHICO	MEDIO	GRANDE
SR	12,7	0,75	2,4	5,7	4,5
R	13,8	1,65	3,9	5,7	4,1
2R	12	1	2,7	4,5	4,8
P(0,05)	0,7182	0,2845	0,6123	0,5443	0,7172

El efecto año fue un factor fundamental para que se obtuvieran estos resultados (año niño). Pero vale preguntarse si para un año normal o con períodos cortos de sequía, sería esperable obtener estos resultados?

5. CONCLUSIONES

La cantidad de rastrojo tuvo efecto sobre la humedad gravimétrica. Volúmenes altos de rastrojo provocaron un mayor contenido de humedad en el suelo.

Los mismos llevaron a una menor intercepción de radiación por el cultivo de sorgo, como consecuencia de un menor porcentaje de cielo visible.

Altas cantidades de rastrojo marcaron una tendencia a una reducción en la población lograda de sorgo

La presencia de rastrojo provocó reducción de la temperatura del suelo, lo cual llevó a un retraso en el desarrollo del cultivo.

Altas cantidades de rastrojo provocaron una reducción en la tasa de crecimiento (altura y IAF) como consecuencia de las menores temperaturas en las etapas iniciales del cultivo y menor radiación interceptada.

La cantidad de rastrojo no tuvo efecto sobre el rendimiento del cultivo de sorgo. Estos resultados fueron consecuencia de un año sin limitantes hídricas, factor que determina la manifestación de efectos del rastrojo sobre el rendimiento. Hubo una compensación a través de un mayor número de panojas/planta y peso de grano.

6. RESUMEN

La creciente intensificación de la agricultura genera la necesidad de incluir en la rotación cultivos C4 como el sorgo, para un correcto uso del suelo. Esto sumado a la implementación del Plan de Uso y Manejo de Suelos y a la instalación de una nueva planta de bioetanol, que tendrá al sorgo como principal materia prima, provocarían un incremento en el área sembrada de este cultivo. La falta de información nacional referente a el efecto del rastrojo del cultivo antecesor sobre el ambiente y este sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de sorgo, llevó a trazar el objetivo de cuantificar el impacto de la cantidad de rastrojo del cultivo de invierno sobre la humedad gravimétrica, temperatura del suelo, interceptación de radiación y su relación con el crecimiento inicial, morfología y rendimiento. En la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC) se instaló el experimento, el cual contó con tres tratamientos de retiro de rastrojo de trigo: sin rastrojo, rastrojo normal y doble de rastrojo. Se midió el desarrollo del cultivo utilizando la escala de Haun y Vanderlip, también el crecimiento, para el cual se midió altura de planta, IAF y peso de planta. Sumado a esto, se midió el rendimiento y sus componentes: número de panojas según tamaño, totales y por planta y peso de mil granos. En lo que respecta al desarrollo, el tratamiento doble de rastrojo, mostró un retraso en el desarrollo respecto a los otros dos tratamientos. Altas cantidades de rastrojo provocaron una reducción en la tasa de crecimiento (altura y IAF) como consecuencia de las menores temperaturas en las etapas iniciales del cultivo y menor radiación interceptada. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en rendimiento entre los tratamientos, explicado por una compensación a través de un mayor No. de panojas/planta y peso de grano. Por lo tanto podemos afirmar, que el rastrojo en cantidades elevadas, para un año niño, en cierta forma puede retrasar el desarrollo y provocar cambios en el crecimiento del cultivo de sorgo pero no afectar el rendimiento del mismo.

Palabras clave: Sorgo; Rastrojo cultivo antecesor; Humedad gravimétrica; Temperatura; Radiación; Desarrollo; Crecimiento; Rendimiento.

7. SUMMARY

The increasing intensification of agriculture generates the need to include in the rotation C4 crops such as Sorghum for appropriate use of the soil. Additionally, the “Plan of Use and Management of Soils” and the installment of a new bioethanol plant, whose main input is Sorghum, will provoke an increase in the sown area of this crop. The lack of information nationally on the effect of the preceding crop stubble on the environment, and of the latter on the development stages and yield of Sorghum, is what encouraged the objective of quantifying the impact of the amount of stubble of the winter crop on the gravimetric humidity, temperature of the soil, radiation interception and its relationship to the initial growth, morphology and yield. The experiment took place on the Experimental Station Dr Mario A. Cassinoni (EEMAC), three trials were made, with a normal amount of wheat stubble, with double the normal amount of wheat stubble and without stubble. The development stage of the crop was measured with the Haun and the Vanderlip scale, as well as the growth, for which the height of the plant was measured, Leaf Area Index (LAI) and its weight. In addition, the yield was measured and its components: number of panicles by size, by plant and total amount as well as the weight of a thousand grains. With regard to the development stages, the trial with double the normal amount of stubble, showed a slower development in comparison to the other two trials. High amounts of stubble provoked a reduction in the growth rate (height and LAI) as consequence of lower temperatures in the initial development stages of the crop and lower intercepted radiation. Also, no significant differences of yield were found between trials, which is explained by the counterweight made by a higher number of panicles/plants and the weight of the grain. Therefore we can state, that stubble on high quantities, during a boy year, in a way slow can the development and provoke changes on the growth of Sorghum but it doesn't affect its yield.

Key words: Sorghum; Preceding crop stubble; Gravimetric moisture; Temperature; Radiation; Development; Growth; Yield.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. AASE, J. K.; TANAKA, D. L. 1986. Soil water evaporation comparisons among tillage practices in the northern great plains. *Soil Science Society American Journal*. 51: 436-440.
2. ÁLVAREZ, C.; MICUCCI, F. 2003. El agua en la producción de cultivos extensivos; III. Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur. Archivo Agronómico*. 8: 1-4
3. ANCHIERI, C.; MAGRINI, A. 1981. Efecto residual de cuatro rastrojos de invierno en la producción de cultivos de verano sembrados con mínimo y cero laboreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 114 p.
4. ASTON, A. R.; FISCHER, R. A. 1986. The effect of convencional cultivatio, direct drilling and crop residues on soil temperatures during the early growth of wheat at murrumbateman, New South Wales. *Australian Journal of Soil Research*. 24:49-60.
5. _____. 1987. Apex and root temperature and the early growth of weat. *Australian Journal of Agricultural Research*. 38: 231-238
6. BENÍTEZ, A.; LEUCONA, H. 1996. Efecto de la época de siembra, población y manejo de la fertilización nitrogenada sobre un cultivo de cebada cervecera en siembra directa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 90 p.
7. BERNARDIS, H. O.; GARCÍA, P. A.; FERRERO, A. R. 2002. Estructura del cultivo, fertilización nitrogenada, radiación interceptada y producción de materia seca en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en siembra directa. Corrientes, AR, UNNE. Facultad de Ciencias Agrarias. 4 p.
8. BOND, J. J.; WILLIS W. O. 1971. Soil water evaporation: long-term drying as influenced by surface residue and evaporation potential. *Science Society American Proceedings*. 35: 984-987
9. BOWEN, G. D. 1991. Soil temperature, root growth, and plant function. In: Waisel, Y.; Eshel, A.; Kafkafi, U. eds. *Plants roots the hidden half*. New York, Marcel Dekker. pp. 309-330.

10. BUSCHIAZZO, D. E.; PANIGATTI, J. L.; UNGER, P. W. 1998. Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research*. 49: 105-116
11. CARMONA, F. 2013. Desarrollo de un modelo general para la estimación de la radiación neta con imágenes de satélite. Tesis Doctor en Teledetección. Valencia, España. Facultad de Física. 114 p.
12. CASAL, J. J. 2008. Fotomorfogenesis; la luz como factor regulador del crecimiento. In: Azcón Bieto, J.; Talón, M. eds *Fundamentos de fisiología vegetal*. Madrid, McGraw-Hill. cap. 23, pp. 467-481.
13. CERETTA, S. 2004. Evaluación de cultivares de sorgo granífero evaluado en la zafra 2003-2004. (en línea). Montevideo, INIA. s.p. Consultado 16 oct. 2014. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/sg/rend.htm
14. CONDON, F.; GHELFI, J. M.; PONS, C. 1995. Manejo de rastrojo de cebada para la siembra de girasol de segunda. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 83 p.
15. CORSI, W. 1982. Regionalización agroclimática del Uruguay para cultivos. *Miscelánea CIAAB*. no. 40. 29 p.
16. CRESPI, R.; CRESPI, D. 2008. Alimentos toscos. (en línea). s.n.t. 4 p. Consultado 29 ago. 2014. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~nutanimal/Crespi.Crespi.Forrajes%20Toscos.pdf>
17. CURT, M. D.; FERNÁNDEZ, J.; MARTÍNEZ, M. 1998. Productivity and radiation use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) CV. Keller in central Spain. *Biomass and Bioenergy*. 14(2): 169-178.
18. DABALÁ, L. 2009. Guía de siembra directa. Montevideo, MGAP. 44 p.
19. ENGELS, C. H.; MARSCHNER, H. 1990. Effect of suboptimal root zone temperatures at varied nutrient supply and shoot meristem temperature on growth and nutrient concentrations in maize seedlings (*Zea mays* L.). *Plant and Soil*. 126: 215-225.
20. ERNST, O. s.f. Siembra sin laboreo de cultivos de verano. Paysandú, Facultad de Agronomía. 18 p.

21. _____; MAZZILLI, S.; SIRI-PRIETO, G. 2009. Manejo de la reserva de agua de suelo para situaciones de estrés hídrico. In: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1º, 2009, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 33-48
22. FERRARI, J.M. 2013. Cultivos cerealeros e industriales. Anuario DIEA 2013: 84-99
23. FISCHER, K. S.; WILSON, G. L. 1975. A journal for the publication of original research into all aspects of agricultura in the Australasian region. Studies of grain production in *Sorghum bicolor* (L. Moench). Effect of planting density on growth and yield. Australian Journal of Agricultural Research. 26 (1): 31-41.
24. FORMOSO, F. 2007. Manual para la siembra directa. Estudio comparativo de 13 especies sembradas con preparación convencional de suelo y en directa sobre rastrojos altos y bajos de sorgo granífero para producción de forraje. Montevideo, INIA. 148 p. (Serie Técnica no. 161)
25. FORTÍN, M. C.; PIERCE F. J. 1990. Developmental and growth effects of crop residues on corn. Agronomy Journal. 82: 710-715
26. _____; HAMILL, A. S. 1994. Rye residue geometry for faster corn development. Agronomy Journal. 86: 238-243.
27. FRANZLUEBBERS, A.; STUEDEMANN, J. 2008. Soil physical responses to cattle grazing cover crops under conventional and no tillage in the Southern Piedmont USA. Soil and Tillage Research. 100: 141-153.
28. GAUER, E.; SHAYKENWICH, C. F.; STOBE, H 1982. Soil temperature and soil wáter under zero tillage in Manitoba. Canadian Journal of Soil Science. 62:311-325
29. GARCÍA, M.; GIMÉNEZ, L. 2009. Estudio de las necesidades hídricas de los cultivos de verano en Uruguay. In: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1º, 2009, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 17-31.

30. GARCÍA PRÉCHAC, F. 1991. Strip position, tillage, and water regime effects on a strip intercropping rotation. PhD. Thesis. Ames, USA. Iowa State University. 274 p.
31. _____. 1998. Fundamentos de la siembra directa y su utilización en Uruguay. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 14 p.
32. GREB, B.W. 1966. Effect of surface-applied wheat straw on soil water losses by solar distillation. Soil Science Society of American Proceedings. 30: 786-791.
33. GREGORY, P. J. 1986. Response to temperature in a stand of Pearl Millet. Journal of Experimental Botany. 37:379-388.
34. HERNÁNDEZ, N.; SOTO, F. 2013. Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento. (en línea). Cultivos Tropicales. 34(2): 24-29. Consultado 11 ago. 2014. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193227648004>
35. HOEFER, R. H.; WICKS, G. A.; BURNSIDE, O. C. 1981. Grain yields, soil water storage, and weed growth in a winter wheat-corn-fallow rotation. Agronomy Journal. 73:1066-1071.
36. IZAURRALDE, R. C.; HOBBS, J. A.; SWALLOW, C.W. 1986. Effects of reduced tillage practices on continuous wheat production and on soil properties. Agronomy Journal. 78: 787-791.
37. KEMANIAN CHAKERIAN, A.; LEITES, B. 1996. Crecimiento inicial y absorción de nutrientes de cebada cervecera bajo distintos niveles de compactación, temperatura y disponibilidad de nitrógeno. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. 75 p.
38. KLEPPER, B. 1991. Root-shoot relationship. In Waisel Y.; Eshel A.; Kafafi U. eds. Plant roots; the hidden half. New York, Marcel Dekker. pp. 265-286.
39. KRAMER, P. J. 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas. México, Offset Universal. 538 p.
40. LAFOND, G. P. 1994. An agronomic evaluation of conservation tillage systems and continuous cropping in East Central Saskatchewan. Journal of Soil and Water Conservation. 49(4): 387-393.

41. LOVETT, J. V.; LAZEMBY, A. 1979. Australian field crops; tropical cereals, oilseeds, grain legumes and other crops. Sorghum. Sydney, Angus and Robertson. v.2, 328 p.
42. MACKAY, A. D.; BARBER, S. A. 1984. Soil temperature effects on root growth and phosphorus uptake by corn. Soil Science Society of America Journal. 48:818-823.
43. MAZZILLI, S. 2012. Fisiología maíz y sorgo. (en línea). s.n.t. 89 p. Consultado 18 set. 2014. Disponible en http://www.fagro.edu.uy/~cultivos/Materiales_de_curso/Modulo_cereales_ol_eaginosos/Maiz%20y%20Sorgo%20FC%202012.pdf
44. MEDINA, G.; OLIVERA, B. 2012. Respuesta a la población en sorgo en ambientes con diferente potencial de producción. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 55 p.
45. MIERES, J.; BANCHERO, G.; TIERI, M.P. y LA MANNA, A. 2011. En tiempos de agricultura; ¿Cómo mejorar la utilización del rastrojo de sorgo para la alimentación de ganado bovino? In: Jornada El Menú de la Invernada (2011, Colonia del Sacramento, UY). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 1-3 (Actividades de Difusión no. 658).
46. NIELSEN, K. F.; HUMPHRIES, E. C. 1966. Effects of roots temperature on plant growth. Soils and Fertilizers. 29:1-7.
47. O'BRIEN, G.; WILLEBALD, L. 1996. Efecto de la temperatura, humedad y disponibilidad de nitrógeno del suelo sobre el crecimiento inicial del sorgo granífero en siembra directa y laboreo convencional. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 72 p.
48. ONG, C. K. 1983 Response to temperature in a stand of Pearl millet. Journal of Experimental Botany. 34:322-336.
49. OREJA, F.; de la FUENTE, E. 2012. Pasto cuaresma; efecto del tipo de cobertura del suelo y de la presencia del cultivo de soja sobre la presencia de plántulas. (en línea). s.n.t. 5 p. Consultado 20 nov. 2014. Disponible en http://www.aapresid.org.ar/rem/wp-content/uploads/sites/3/2013/02/SSD12_011.pdf

50. OSORIO, V. 2011. Efecto de la labranza, manejo de rastrojo y fertilización de nitrógeno sobre el contenido de humedad y desarrollo del cultivo de trigo. Tesis Maestro en Ciencias. Texcoco, México. Colegio de Postgraduados. 83 p.
51. PERRACHÓN, J. 2011. Siembra directa en Uruguay; algunos mitos muy arraigados en el ámbito agropecuario. Revista del Plan Agropecuario. no. 139: 42-45
52. POWER, J. F.; GRUNES, D. L.; REICHMAN, G. A.; Willis, W. O. 1970. Effects of soil temperature on rate of barley development and nutrition. *Agronomy Journal*. 62:567-571.
53. RAMEAU, M.; ROSA, A. L. 2013. Efecto de las deficiencias hídricas sobre el rendimiento de sorgo granífero. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 59 p.
54. SERRENTINO, F.; DÍAZ, E.; ERRANDONEA, J. 2014. Efecto de retiro de residuos de cosecha en una rotación trigo-sorgo-maíz sobre la implantación y rendimiento de cultivos de verano. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 55 p.
55. SHARRATT, B. S. 1991. Shoot growth, root length density and water use of barley grown at different soil temperatures. *Agronomy Journal*. 83:237-239.
56. SIRI, G. 2004. Sorgo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 96 p.
57. UNGER, P. W. 1978. Straw-mulch rate effect on soil water storage and sorghum yield. *Soil Science Society of America Journal*. 42: 486-491.
58. _____. 1981. Tillage effects on wheat and sunflower grown in rotation. *Soil Science Society American Journal*. 45: 941-945.
59. _____. 1984. Tillage and residue effects on wheat, sorghum, and sunflower grown in rotation. *Soil Science Society of American Journal*. 48: 885-891.
60. _____. 1994. Residue management for Winter wheat and grain sorghum production with limited irrigation. *Soil Science Society of American Journal*. 58: 537-542.

61. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES ESTADÍSTICAS AGROPECUARIAS. s.f. Series históricas. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 17 nov. 2014. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2,diea,diea-series-historicas,O,es,0>.
62. VANDERLIP, R. L.; REEVES, H. E. 1972. Growth stages of sorghum. *Agronomy Journal*. 64: 13-16.
63. VAN WIJK, W. R.; LARSON, W. E.; BURROWS, W. C. 1959. Soil temperature and the early growth of corn from mulched and unmulched soil. *Soil Science Society of American Proceedings*. 23 (6): 428-434.
64. VIEGA, L.; MAZZILLI, S. 2012. Cereales y cultivos oleaginosos. (en línea). s.n.t 16 p. Consultado 7 ago. 2014. Disponible en http://www.fagro.edu.uy/~cultivos/Materiales_de_curso/Modulo_cereales_ol_eaginosos/intro%20cereales%20%202012.pdf
65. WATTS, W. R. 1971. Role of temperature in the regulation of leaf extension in *Zea mays*. *Nature*. 229: 46-47
66. WICKS, G. A.; CRUTCHFIELD, D. A.; BURNSIDE, O. C. 1994. Influence of wheat (*Triticum aestivum*) straw mulch and metolachlor on Corn (*Zea mays*) growth and yield. *Weed Science*. 42 (1): 141-147.
67. WILHELM, W. W.; DORAN, J. W.; POWER, J. F. 1986. Corn and soybean yield response to crop residue management under no-tillage production systems. *Agronomy Journal*. 78: 184-189.
68. ZHAI, R.; KACHANOSKI, R. G.; VORONEY, R. P. 1990. Tillage effects on the spatial and temporal variations of soil water. *Soil Science Society of American Journal*. 54: 186-192.

9. APÉNDICES

Apéndice No.1. Desarrollo fenológico (HAUN y Vanderlip) según tratamiento

Tratamiento	Momento			
	14 dps	21 dps	39 dps	80d post-siembra
SR	3,82 a	6,00 a	10,3 a	5.97 a
R	3,58 a	5,33 b	9,82 a	5.96 a
2R	2,75 b	4,37 c	8,93 b	5.69 b
P(0,05)	0,0005	<0,0001	0,0042	0,0048

Dps: Días pos siembra

Apéndice No.2. Evolución de altura de planta según tratamiento.

Tratamiento	Momentos		
	14 dps	21 dps	39 dps
SR	10,49 c	29,92 b	97,13 a
R	17,43 a	36,73 a	101,72 a
2R	13,58 b	27,85 b	87,82 b
P(0,05)	0,0008	0,0117	0,0155

Dps: Días pos siembra