

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**IMPACTO DE LA ROTACIÓN DE CULTIVOS SOBRE
LA SANIDAD DE TRIGO EN SIEMBRA DIRECTA**

por

**Santiago CARRERE RUIZ
Matías DOMENECH MEIKLE
Martín ZAPATA SILVERA**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2010**

Tesis aprobada por:

Director: -----
Ing. Agr. (MSc, PhD) Carlos Pérez

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. (MSc) Silvia Pereyra

Fecha: -----

Autores: -----
Santiago Carrere Ruiz

Matías Domenech Meikle

Martín Zapata Silvera

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director de tesis, Ing. Agr. (MSh, PhD) Carlos Pérez, por darnos la oportunidad de realizar este trabajo, por su gran disposición y comprensión para que esta tesis fuera posible.

A los integrantes del tribunal Ing. Agr. Oswaldo Ernst e Ing. Agr. Silvia Pereyra, a Darío Fros y Daniel Bercianos por su colaboración, a aquellos integrantes de Biblioteca de la facultad que nos asistieron en la estructuración de la tesis, al personal de la E.M.M.A.C. por permitirnos usar sus instalaciones para la realización de esta tesis.

Por último, agradecer muy especialmente a nuestras familias, novias y amigos por su colaboración e incondicional apoyo a lo largo de la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.1.1 <u>Objetivo general</u>	3
1.1.2 <u>Objetivos específicos</u>	3
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	4
2.1 INTRODUCCIÓN.....	4
2.2 IMPORTANCIA DE LAS ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE TRIGO...5	
2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PATÓGENOS DEL TRIGO SEGÚN SUS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES.....	7
2.4 IMPORTANCIA DE LA SIEMBRA DIRECTA EN EL CULTIVO DE TRIGO10	
2.5 IMPORTANCIA DEL RASTROJO SOBRE EL DESARROLLO DE MANCHAS FOLIARES EN TRIGO.....	13
2.6 ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA DISMINUIR LA PRESIÓN DE INÓCULO.....	16
2.6.1. <u>Manejos del rastrojo</u>	17
2.6.2. <u>Rotación de cultivos</u>	18
2.7 HIPÓTESIS PRINCIPALES.....	24
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	25
3.1 UBICACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL.....	25
3.2 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	25
3.3 MANEJO DE LOS CULTIVOS.....	26
3.4 DETERMINACIONES REALIZADAS.....	27
3.4.1 <u>Densidad de inóculo</u>	27

3.4.2 <u>Cuantificación de pseudotecios de <i>Pyrenophora tritici-repentis</i></u>	29
3.4.3 <u>Cuantificación de la severidad de la mancha amarilla</u>	30
3.4.4 <u>Estimación de rendimiento</u>	30
3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	31
3.6 CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL PERÍODO EXPERIMENTAL.....	32
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	33
4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO.....	33
4.2 EFECTO DEL LARGO DE ROTACIÓN SOBRE LA SANIDAD DEL TRIGO	36
4.3 EFECTO DEL LARGO DE ROTACIÓN SOBRE LA DENSIDAD DE INÓCULO DE <i>Pyrenophora tritici-repentis</i>	43
4.4 RELACIÓN ENTRE DENSIDAD DE INÓCULO DE JUNIO Y OCTUBRE CON LA ENFERMEDAD OBSERVADA.....	54
4.5 COMPONENTES DE RENDIMIENTO DE GRANO.....	55
5. <u>CONCLUSIONES</u>	58
6. <u>RESUMEN</u>	60
7. <u>SUMMARY</u>	62
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	63
9. <u>ANEXOS</u>	70

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Pérdidas máximas de rendimientos por efecto de distintas enfermedades en trigo.....	6
2. Clasificación de los patógenos de trigo de importancia en Uruguay, según sus hábitos alimenticio.....	7
3. Superficie sembrada (total y en directa) de verano, según modalidad. Año agrícola 2008/09.....	12
4. Componentes de la presión de inóculo de <i>B. sorokiniana</i> al momento de la siembra del cultivo de invierno.....	14
5. Efecto del manejo del rastrojo y el tipo de laboreo, sobre la cantidad de rastrojo remanente en superficie y la severidad de la mancha amarilla.....	17
6. Efecto de la rotación sobre los niveles de la mancha amarilla en trigo (<i>Drechslera tritici-repentis</i>).....	23
7. Efecto del sistema de rotación sobre la incidencia (%) de manchas foliares en trigo.....	24
8. Secuencias de cultivos estudiadas en el experimento	25
9. Cultivo sembrado en cada tratamiento y secuencia correspondiente a cada uno, para los años 2006, 2007, 2008 y 2009.....	26
10. Diseño experimental y uso del suelo (invierno 2009) con la ubicación de cada tratamiento en los distintos bloques	26
11. Cultivares utilizados por cultivo	27
12. Temperatura promedio máxima, mínima y media para el periodo junio-noviembre 2009	34

13. Registros de días con precipitaciones para el periodo junio-noviembre 2009.....	35
14. Componentes del rendimiento de trigo año 2009.....	56
15. Parámetros de calidad de grano y rendimiento final	56

Figura No.

1. Evolución histórica del área de siembra de trigo en Uruguay en el periodo 1960-2009.....	4
2. Evolución histórica de rendimientos promedios nacionales de trigo en Uruguay en el periodo 1960-2009.....	5
3. Descomposición del rastrojo de trigo y cebada, en superficie o incorporado con el laboreo.....	9
4. Evolución del área de invierno (trigo, cebada, avena y otros) y porcentaje realizada en siembra directa	11
5. Área sembrada según cultivo desde la zafra 2000 al 2009 en invierno y verano en Uruguay.....	13
6. Relación entre cantidad de rastrojo de trigo sobre el suelo y severidad de mancha amarilla en el trigo siguiente.....	15
7. Relación entre la cantidad de rastrojo y las pérdidas obtenidas en el rendimiento	16
8. Dinámica de la población de patógenos necrotróficos bajo monocultivo.....	19
9. Dinámica de la población de patógenos necrotróficos bajo rotación de cultivos.....	20
10. Cantidad de rastrojo de trigo y cebada en superficie en tres fechas distintas.....	21
11. Evolución del inóculo de mancha en red en el rastrojo de cebada, según la secuencia de cultivos.....	22

12. Temperatura media mensual durante el período experimental (Año 2009) y promedio histórico 1960 - 1990, para el sitio experimental.....	33
13. Precipitaciones promedio mensual durante el período experimental (Año 2009) y promedio histórico 1960 – 1990, para el sitio experimental.....	34
14. Comparación de la humedad relativa (HR, %) entre los promedios mensual del 2009 y el promedio histórico 1960 – 1990.....	35
15. Evolución de la enfermedad medida a través porcentaje de severidad en trigo según tratamiento.....	37
16. Evolución de la severidad de mancha amarilla determinada por hoja en distintos estados fenológicos del cultivo (escala Zadoks, 1974) para cada tratamiento	39
17. Efecto del largo de rotación sobre los niveles de mancha amarilla en trigo medida como área ubicada debajo de la curva del progreso de la enfermedad (AUDCPE)	40
18. Efecto del largo de rotación sobre los niveles de mancha amarilla en trigo medida como área ubicada debajo de la curva del progreso de la enfermedad (AUDCPE), para los últimos 3 años evaluados previos al 2009.....	42
19. Presión de inóculo de <i>Pyrenophora tritici-repentis</i> promedio de todo el experimento para los muestreos realizados en junio y octubre, respectivamente	43
20. Presión de inóculo de <i>Pyrenophora tritici-repentis</i> según tratamiento para cada uno de los muestreos realizados....	44
21. Cantidad de rastrojo por metro cuadrado para los dos muestreos realizados según tratamiento	45
22. Potencial de inóculo (número de conidios) por gramo de	

rastrajo para los dos muestreos realizados según tratamiento	47
23. Correlación entre conidios/m ² y conidios/g o g/m ² para los muestreos de julio y octubre	48
24. Número de pseudotecios de <i>P. tritici-repentis</i> por metro cuadrado según tratamiento para las dos épocas de muestreo	49
25. Número de pseudotecios de <i>P. tritici-repentis</i> por gramo de rastrajo según tratamiento para dos épocas de muestreo	50
26. Número de pseudotecios de <i>P. tritici-repentis</i> por gramo y edad del rastrajo (1, 2 y 3 años) en los muestreos de junio y octubre según tratamiento.....	51
27. Composición botánica del rastrajo por tratamiento en el muestreo realizado en junio 2009.....	52
28. Composición botánica del rastrajo por tratamiento en el muestreo realizado en octubre 2009	53
29. Relación entre presión de inóculo, a la siembra (junio) y durante el antesis (octubre), con la cantidad de enfermedad según tratamiento.....	55

1. INTRODUCCION

Históricamente, el cultivo de trigo ha sido un componente importante en la agricultura uruguaya. En la actualidad, junto con la soja, son los cultivos agrícolas de mayor importancia a nivel nacional. En la zafra 2009 se sembraron 546 mil hectáreas de trigo lo que representa un 75 % del área destinada a cultivos de invierno, mostrando la importancia de este cultivo en la agricultura uruguaya (modificado a partir URUGUAY. MGAP. DIEA, 2009a). Los rendimientos promedios varían anualmente explicados por una serie de factores entre los que se ubican los problemas sanitarios (Díaz y Abadie, 1997).

La gran participación del cultivo de trigo en el área agrícola del país en las últimas zafras implica que gran parte del área sea sembrada sobre rastrojo de trigo. Esto, junto con la adopción de medidas conservacionistas como la siembra directa conlleva a que se favorezca el desarrollo temprano de enfermedades que permanecen en el rastrojo (Pereyra y Díaz, 2009). La incidencia y la severidad de enfermedades en las plantas están determinadas por una interacción dinámica entre los cultivos susceptibles, el agente causal (patógeno) y las condiciones ambientales favorables. Estos tres factores son necesarios para el desarrollo de las enfermedades (Krupinsky et al., 2002). Así, la permanencia del rastrojo asegura la presencia de inóculo de los patógenos que sobreviven en el mismo, y la siembra de un cultivo susceptible hace que solo se dependa de la ocurrencia de condiciones ambientales para que se desarrollen epifitias.

Entre los factores que limitan la producción de trigo en Uruguay, las enfermedades son un componente de gran importancia. Un diverso grupo de patógenos afecta al cultivo de trigo, entre los cuales las manchas foliares son consideradas uno de los factores más limitantes en la producción en América Latina. Los principales agentes causales son: *Mycosphaerella graminicola* (estado imperfecto, *Septoria tritici*), *Leptosphaeria nodorum* (estado imperfecto, *Septoria nodorum*), *Cochliobolus sativus* (estado imperfecto, *Bipolaris sorokiniana*), y *Pyrenophora tritici – repentis* (estado imperfecto, *Drechslera tritici repentis*, Kohli, 1996).

En la década de los 80's, los sistemas agrícolas uruguayos, estaban basados en laboreo convencional, y en una rotación con una fase agrícola y otra pastoril. La fase pastoril incluía praderas mixtas de leguminosas y gramíneas, la

cual tenía como principal objetivo recomponer los niveles de materia orgánica perdidos a causa del laboreo realizado en la fase de cultivos (Díaz-Rosello, 1992). Estos sistemas de rotación indirectamente estaban contribuyendo al buen manejo de los patógenos asociados al rastrojo por lo cual las manchas foliares de los cereales de invierno no eran problema, siempre y cuando no se repitiera el mismo cultivo dos inviernos consecutivos (Pérez et al., 2009b).

A fines de la década de los 90's, se comenzó a promover una nueva tecnología de producción, la siembra sin laboreo. Esta técnica presenta una serie de ventajas donde la permanencia de los rastrojos en superficie es la clave en la sustentabilidad del sistema (Ernst y Siri-Prieto, 2000). Sin embargo, la permanencia del rastrojo en superficie disminuye la tasa de descomposición del mismo y permite que los hongos necrotróficos que allí se alimentan permanezcan en la chacra por más tiempo (Pereyra 1996, Bockus y Shroyer 1998).

Por consiguiente, la adopción de dicha práctica conservacionista ha resultado en el aumento de la incidencia y la severidad de distintas enfermedades, principalmente la mancha amarilla del trigo (Bailey y Duczek 1996, Díaz 1996a). Así mismo Krupinsky et al. (2002) indica que el laboreo reducido incrementa el riesgo de ocurrencia de enfermedades foliares comparado con el laboreo convencional debido a que aumenta los niveles de inóculo primario presentes en los residuos de cultivos en la superficie del suelo.

La rotación con cultivos no susceptibles es la principal medida de manejo, junto al uso de cultivares resistentes, para disminuir el efecto negativo que ejercen estas manchas foliares en el rendimiento y calidad física del trigo (Krupinsky et al., 2002). A su vez, secuencias apropiadas de cultivos pueden acentuar positivamente interacciones sinérgicas entre los cultivos, aumentando la eficiencia en el uso del agua y reduciendo potenciales problemas de enfermedades, siendo un importante componente del desarrollo sustentable de los sistemas de cultivos (Krupinsky et al., 2002, 2007). Sin embargo, en general el productor cuenta con un reducido número de especies de cultivos de interés comercial y la selección de cultivares no susceptibles al patógeno en cuestión es difícil, por lo que surge como interrogante: En una chacra con rastrojo de trigo, ¿cuánto tiempo hay que esperar sin sembrar trigo para que la presión de inóculo no ejerza un efecto importante en la ocurrencia de epífitas?

El presente estudio busca brindar elementos para responder a dicha pregunta así como determinar la presión de inóculo en diferentes momentos y su relación con el sistema de rotación y desarrollo de las enfermedades en el cultivo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Generar información en el corto plazo, para un manejo racional y sustentable del patógeno del rastrojo en los sistemas agrícolas sin laboreo

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Generar la información necesaria para una aproximación a la caracterización de una chacra como “de alto riesgo de epifítia” para mancha amarilla
- b) Cuantificar el efecto de la rotación de cultivos sobre la ocurrencia de epifitias de mancha amarilla en el cultivo de trigo
- c) Estudiar la evolución del inóculo de mancha amarilla presente en el rastrojo a lo largo del tiempo

2. REVISION BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUCCION

El trigo es uno de los principales cultivos sembrados en el Uruguay. Históricamente ocupó una importante área de siembra con grandes variaciones debido a precios de mercado y condiciones climáticas así como distintas enfermedades.

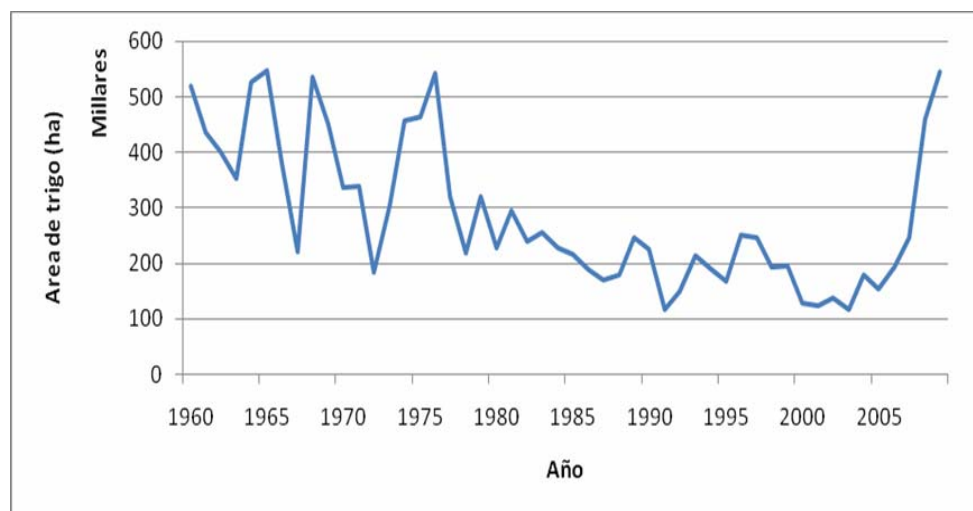


Figura 1. Evolución histórica del área de siembra de trigo en Uruguay en el periodo 1960-2009 (adaptado a partir series históricas de datos de URUGUAY. MGAP . DIEA, 2009a).

La superficie sembrada con trigo en la zafra 2009 fue estimada en 546 mil hectáreas. Desde la zafra del 2006 el área sembrada de trigo ha ido en aumento de forma continua (Figura 1). La producción estimada para el 2009 es de 1,8 millones de toneladas constituyendo un record histórico, así como el rendimiento medio nacional de 3.336 kg/ha sembrada (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2009a, Figura 2). Estos rendimientos han tenido una tendencia al aumento, con fuertes variaciones anuales. En algunos casos estas variaciones fueron ocasionadas debido a problemas los sanitarios, como en el 2001 y 2002 donde ocurrieron ataques severos de fusariosis de la espiga.

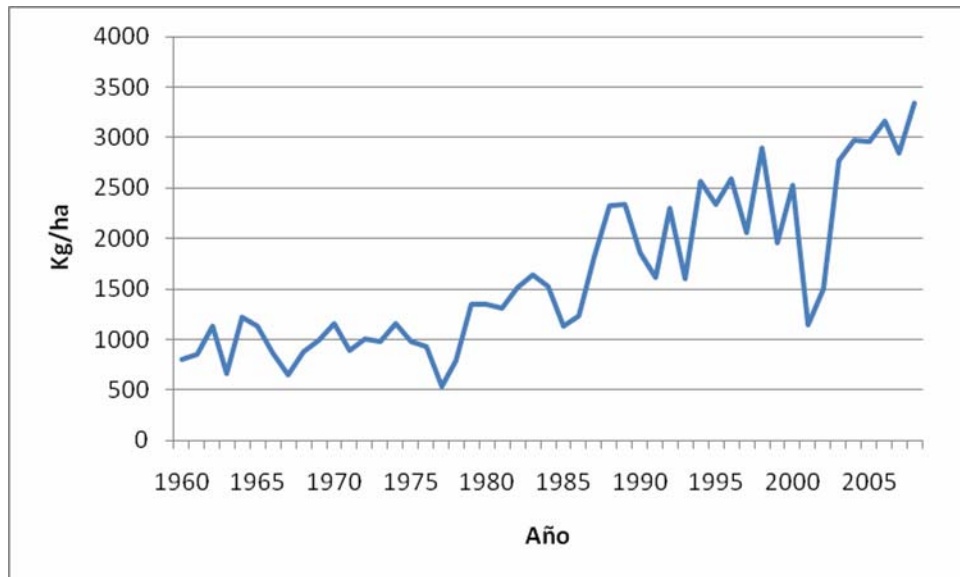


Figura 2. Evolución histórica de rendimientos promedios nacionales de trigo en Uruguay en el periodo 1960-2009 (adaptado a partir series históricas de datos de URUGUAY. MGAP. DIEA, 2009a).

2.2 IMPORTANCIA DE LAS ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE TRIGO

Un diverso grupo de patógenos atacan los cultivos de trigo en Uruguay dentro de los cuales se destacan *Pyrenophora tritici-repentis* (*Drechslera tritici-repentis*) agente causal de la mancha parda o amarilla, *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) agente causal de la septoriosis o mancha de la hoja, *Cochliobolus sativus* (*Bipolaris sorokiniana*) agente causal de la mancha borrosa, (Pereyra y Díaz, 2009), *Giberella zae* (*Fusarium graminearum*) agente causal de la fusariosis de la espiga, *Puccinia triticina* agente causal de la roya de la hoja y *Blumeria graminis f sp. tritici*, agente causal del oídio. (Stewart et al., 1997). Estos patógenos producen mermas en el rendimiento así como pérdidas en la calidad del grano afectando su comercialización.

Según Manzini, citado por Díaz et al. (2006) la septoriosis puede provocar una disminución en el rendimiento del orden del 60%. En INIA La Estanzuela se realizaron ensayos de evaluación de daños, desde 1976 al 2002, donde las enfermedades se expresan sin interacción con otras enfermedades y en condiciones óptimas. Dichos ensayos mostraron valores máximos de pérdida de rendimientos de grano asociadas a esta enfermedad del orden del 64% entre los años 1974 y 1977 (Cuadro 1; Díaz et al., 2006).

Cuadro 1. Pérdidas máximas de rendimientos por efecto de distintas enfermedades en trigo (modificado a partir de Díaz et al., 2006).

Enfermedad	Perdida Máxima
Septoriosis	64%
Fusariosis de la espiga	31%
Roya de la hoja	54%

Para la septoriosis, la máxima disminución del peso de 1000 granos (PMG) reportada fue 27% en 1993 (Díaz, 1996a) y 22% del peso hectolítrico (PH) (Díaz et al., 2006). Para la roya de la hoja y del tallo la máxima disminución de PMG fue de 39% y 16 % de peso hectolitrico en la zafra de 1978 (Germán y Luizzi, 1982). En el caso de la fusariosis de la espiga las pérdidas máximas en rendimiento de grano se registraron en el 2001, con reducciones del rendimiento del 47% y reducciones en el PMG y PH del orden de 34% y 17%, respectivamente (Díaz et al., 2006).

En lo que respecta a mancha amarilla, a la fecha no se encontraron publicaciones nacionales que permitan estimar el impacto de esta enfermedad sobre el rendimiento de trigo. Sin embargo, a nivel internacional existe abundante información al respecto. Rees (1982) constató que ataques severos de *P. tritici-repentis* pueden provocar la defoliación total al estado de floración coincidiendo con resultados obtenidos en Argentina en 1997 y 1998 (Carmona y Reis, 1998), mientras que Galich, citado por Carmona (2003b) mostró disminuciones de 347 kg/ha en presencia de rastrojo comparada con rendimientos de cultivos sin rastrojo infectado.

Pérez Fernández (1998) menciona reducciones del rendimiento en grano provocadas por mancha amarilla del orden de 20-50% dependiendo del daño de los tejidos fotosintéticos, y además una importante reducción en el peso de mil granos. En concordancia con esto, Formento (2007) señala que las lesiones provocadas por manchas foliares reducen el área fotosintética y en consecuencia, alteran importantes funciones de la planta. Esto ocasiona, según el momento de infección, una disminución en el número y peso de grano, principalmente cuando son afectadas las hojas superiores (Hoja Bandera (HB)-2, HB-1 y HB). A nivel mundial estas pérdidas en rendimiento de grano pueden llegar a ser de 30- 40%, pero normalmente oscilan entre un 3 y 15%. En Argentina se estimaron pérdidas de entre un 15 y 20% (Formento, 2007).

Todas las enfermedades pueden llegar a causar pérdidas económicas de gran importancia si no se toman las medidas preventivas necesarias y no se realiza un manejo integrado de las mismas.

2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PATÓGENOS DEL TRIGO SEGÚN SUS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

Los patógenos pueden ser clasificados según sus requerimientos nutricionales en dos grupos: biotróficos y necrotróficos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de los patógenos de trigo de importancia en Uruguay, según sus hábitos alimenticios (modificado a partir de Pereyra et al., 2005).

Patógenos	
Biótrofos	Necrotótrofos
<i>Puccinia triticina</i>	<i>Drechslera tritici-repentis</i>
<i>Blumeria graminis f sp. tritici</i>	<i>Bipolaris sorokiniana</i>
<i>Puccinia graminis f sp. tritici</i>	<i>Septoria tritici</i>
<i>Ustilago tritici</i>	<i>Septoria nodorum</i>
<i>Tilletia caries</i>	<i>Fusarium spp.</i>

Los patógenos biotróficos son microorganismos que tienen una sola fase en su ciclo de vida, la parasítica. Son parásitos obligados y dependen de la planta viva para nutrirse, de donde extraen sus nutrientes y se alimentan. No tienen capacidad de desarrollarse en restos vegetales (Stewart et al., 2004).

Los microorganismos biotróficos tienen distintas estrategias de sobrevivencia, permaneciendo en plantas voluntarias o guachas durante el verano y otoño (Martino, 1997). También pueden sobrevivir en cultivos o chacras linderas o vecinas, las cuales actúan como fuente de inóculo primario de estos patógenos. Asimismo pueden permanecer adheridos a la semilla o latentes en el embrión como es el caso de los carbones. La intensificación de la agricultura puede aumentar la aparición de epifitias de estos patógenos ya que al aumentar las áreas cultivadas se incrementa el sustrato disponible para ser parasitado por estos patógenos (Stewart et al., 2004).

Los necrotróficos son parásitos facultativos y tienen dos fases en su ciclo de vida, presentan una fase parasítica sobre su huésped vivo y otra saprofítica donde son capaces de seguir alimentándose de la planta aún después de su senescencia. Son patógenos que utilizan tejidos muertos como fuente de nutrientes. Primero provocan la muerte de los tejidos a través de toxinas y/o

enzimas, y luego continúan alimentándose en el rastrojo extrayendo nutrientes de los restos vegetales (Pérez, 1998).

Estos pasan gran parte de su vida en el rastrojo y pueden dividirse en dos grupos: aquellos que dependen del rastrojo para sobrevivir entre zafras, y aquellos que forman estructuras de supervivencia tales como esclerotos, clamidosporas, oosporas y su supervivencia va mas allá de la descomposición del rastrojo pudiendo permanecer libres en el suelo (Cook et al. 1978, Stewart et al. 2004).

La mayoría de los patógenos de la parte aérea dependen de la presencia de rastrojo entre zafras para sobrevivir. Si el rastrojo es enterrado, estos patógenos no sobreviven por largos periodos debido a la rápida descomposición del mismo y a la baja habilidad competitiva frente a otros organismos, por lo que al quedar sin sustratos mueren por inanición (Cook et al., 1978). Si por el contrario se deja el rastrojo en superficie los patógenos sobreviven por mayores periodos de tiempo debido a la reducida tasa de descomposición, lo que permite disponibilidad de alimento por más tiempo. Así, la tasa de descomposición del rastrojo pasa a definir el tiempo de supervivencia de los patógenos dependientes del rastrojo. Este es el caso de los patógenos necrotróficos del trigo (Pérez, 1998).

Según Pérez (2004), el rastrojo en superficie es descompuesto a una menor tasa que cuando el mismo es incorporado. Cuando el rastrojo es incorporado el volumen del mismo se puede reducir en un 50 % en seis meses, mientras que si permanece en superficie casi no hay variación (Pereyra, 1996, Figura 3).

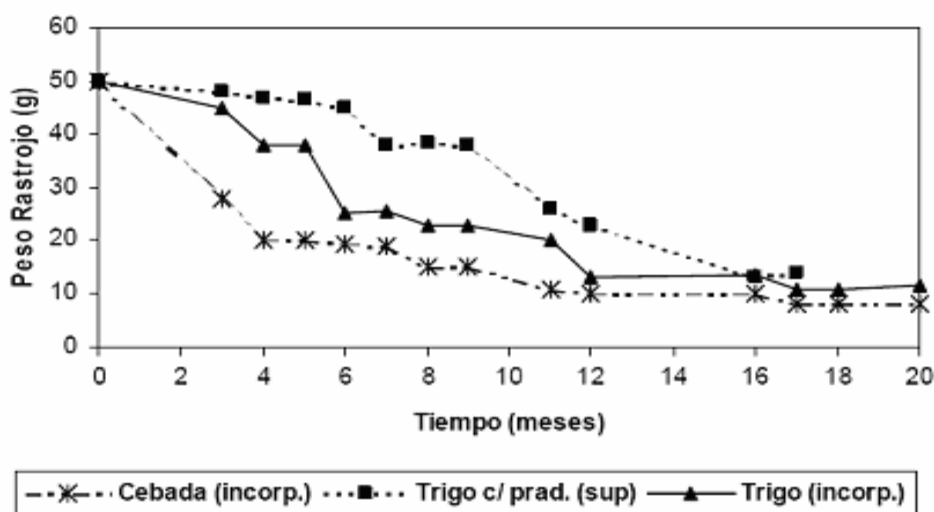


Figura 3. Descomposición del rastrojo de trigo y cebada, en superficie o incorporado con el laboreo (Pereyra, 1996).

Cabe destacar que bajo las condiciones de Uruguay, aún con el enterrado de los rastrojos, la cantidad de remanente a seis meses de la cosecha (momento en que se siembra el nuevo cultivo de invierno) permanece siendo elevada. Esto indica que aún en sistemas con laboreo y enterrado, el monocultivo tiene un alto riesgo de ocurrencia de epifitias por no permitir la descomposición total del rastrojo y la consiguiente muerte de/los patógeno/s (Pérez, 2004).

El tiempo por el cual no se debería sembrar nuevamente un cultivo susceptible depende de la supervivencia de cada patógeno en el rastrojo. Según datos de INIA realizados en base a estudios epidemiológicos para mancha en red, mancha borrosa y fusarium, un período de dos o tres años sin cultivo susceptible sería suficiente para el control de estas enfermedades (Pereyra y Stewart, 2004).

La escasa habilidad saprofítica de los patógenos que son dependientes del rastrojo no les permite colonizar rastrojos en los cuales no se encontraban presentes. La supervivencia en estos casos, está condicionada a la colonización de los tejidos durante el ciclo del cultivo debido a que no presentan habilidad de colonizar nuevos tejidos una vez que están en la comunidad del rastrojo. Por otra parte, *B. sorokiniana* es la única especie capaz de sobrevivir como conidio durmiente, libre en el suelo (Stewart et al., 2001). Según reportes generados en Brasil (Reis, 1988) puede permanecer libre en el suelo durante 37 meses. Sin embargo, la importancia epidemiológica de dicha estrategia de supervivencia no ha sido completamente determinada.

2.4 IMPORTANCIA DE LA SIEMBRA DIRECTA EN EL CULTIVO DE TRIGO

La permanencia de los rastrojos en superficie afecta directamente la supervivencia de los patógenos asociados a los mismos. Por consiguiente, la adopción de la siembra directa tiene un gran impacto sobre la epidemiología de las enfermedades causadas por estos patógenos.

La siembra directa comenzó a insertarse en los sistemas de producción durante la década del 90, y representa quizás el cambio tecnológico más importante en cuanto a técnicas de manejo de suelo. Esta tecnología como alternativa de manejo apunta a una “agricultura sostenible” siendo una práctica eficiente en la preservación del recurso suelo. Cuando esta práctica es realizada en condiciones óptimas es capaz de mantener o mejorar la productividad y calidad del suelo (Stewart et al., 2001).

Son bien conocidos los beneficios que otorga la permanencia del rastrojo del cultivo anterior en la superficie del suelo, como lo es la disminución de la erosión por un menor escurrimiento superficial del agua y por una disminución en la energía cinética de la gota de lluvia. Aumenta, a su vez, la conservación del agua en el perfil por una merma de la evaporación, aumenta la posibilidad de siembra, modifica la dinámica de nutrientes, actúa como aislante térmico, y atenúa la velocidad del viento (Bailey y Duczek 1996, Pérez 1998, Krupinsky et al. 2002).

Para el caso de las enfermedades, la permanencia del rastrojo del cultivo anterior, puede condicionar la sanidad del cultivo a implantar, principalmente de aquellas causadas por patógenos que sobreviven en el mismo (Pérez, 1998). Sin embargo, a pesar de esta limitante, la adopción de la siembra directa en agricultura de secano ha continuado en aumento, tanto en términos absolutos como relativos. El área sembrada con cultivos de invierno en el 2008 bajo esta modalidad (543 mil hectáreas) es un 70% superior a la registrada el año anterior (320 mil hectáreas, URUGUAY. MGAP. DIEA, 2008).

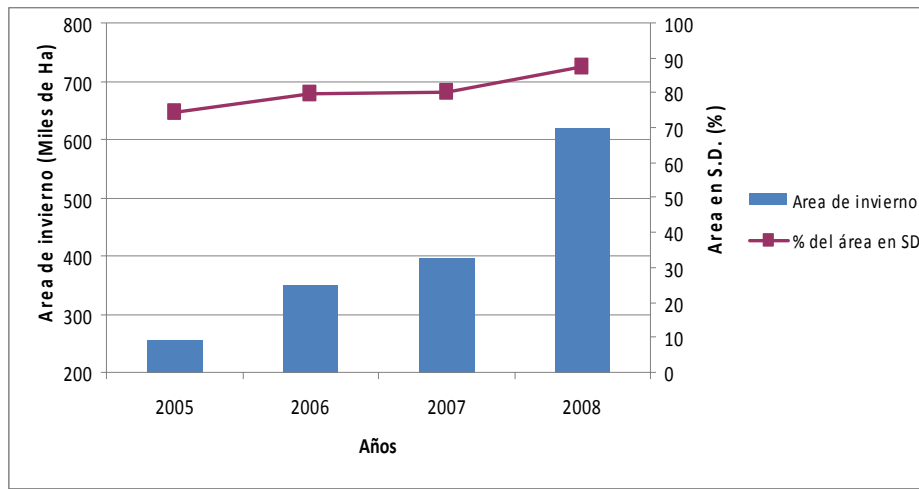


Figura 4. Evolución del área de cultivos de invierno (trigo, cebada, avena y otros) y porcentaje realizada en siembra directa (modificado a partir de URUGUAY. MGAP. DIEA, 2008).

El área destinada para los cultivos de invierno ha aumentado de manera importante, principalmente para la zafra 2008 donde se sembró un 55% más que la zafra anterior (Figura 4). Por otra parte, la modalidad de siembra de cero laboreo ha presentado aumentos moderados para los años evaluados llegando casi al 90% del área. Esta tecnología, si la comparamos con lo que ocupaba en trigo y cebada de la zafra 1998 (20,3%) o para la zafra 2000 (35%) ha tenido un aumento importante, siendo una modalidad de siembra ampliamente adoptada para los cereales de invierno.

En los cultivos de verano la modalidad de siembra sin laboreo involucra al 95% del área agrícola de la zafra pasada (2008/2009), adoptándose dicha práctica de manejo fundamentalmente para las siembras de segunda llegando casi al 100% en el cultivo de soja (Cuadro 3).

Cuadro 3. Superficie sembrada (total y en directa) de verano, según modalidad. Año agrícola 2008/09 (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2009b).

Cultivo	Superficie sembrada		
	Total (ha)	En Directa (ha)	% 1/
Total	788.435	749.545	95.1
Soja 1 ^a	257.427	247.097	96.0
Soja 2 ^a	320.390	319.508	99.7
Girasol 1 ^a	34.133	24.341	71.3
Girasol 2 ^a	20.965	18.976	90.5
Maíz 1 ^a	68.701	57.565	83.8
Maíz 2 ^a	18.762	18.423	98.2
Sorgo 1 ^a	34.974	31.186	89.2
Sorgo 2 ^a	33.083	32.449	98.1

1/ Con respecto a lo sembrado.

A la fuerte adopción de la siembra directa se le suma el hecho de que gran parte del área se siembra con trigo en el invierno y soja en el verano (Figura 5). Esto ha llevado a una simplificación de los agroecosistemas, remplazando la diversidad de especies oleaginosas y gramíneas que se cultivaba anteriormente en Uruguay, a la situación actual donde predominan el trigo y la soja. Esto resulta en una mayor inestabilidad del ecosistema desde el punto de vista sanitario (Stewart et al., 2004).

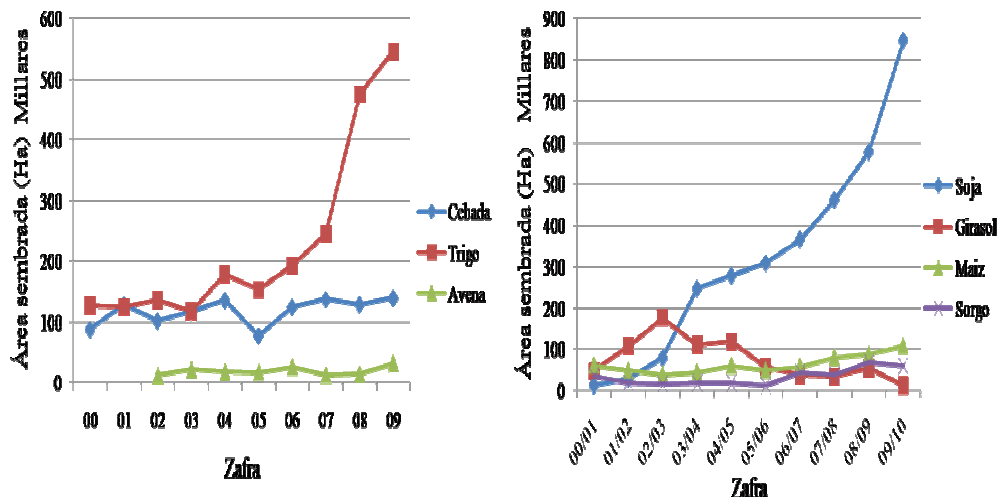


Figura 5. Área sembrada según cultivo desde la zafra 2000 al 2009 en invierno y verano en Uruguay (adaptado a partir de serie histórica de datos, URUGUAY. MGAP. DIEA, 2009b).

Esta situación plantea un escenario productivo para los cultivos agrícolas y principalmente trigo y soja, que deberán ser atendidos en el corto plazo por la investigación nacional de modo de generar alternativas de manejo que permitan minimizar el impacto de las enfermedades sobre el sector agrícola.

2.5 IMPORTANCIA DEL RASTROJO SOBRE EL DESARROLLO DE MANCHAS FOLIARES EN TRIGO

Debido a su escasa habilidad competitiva de los agentes causales de manchas foliares, estos tienen la capacidad de sobrevivir en el rastrojo del cultivo del cual son patógenos y no en cualquier rastrojo. Sin embargo, son muy eficientes sobreviviendo en el rastrojo del cultivo que colonizaron en su fase parasítica (Pérez, 2004).

El rastrojo en superficie no sólo funciona como sustrato, sino que además induce a ciertos hongos a reproducirse sexualmente. Estas estructuras llamadas peritecios y pseudotecios, contienen en su interior ascos con ascosporas que son descargadas en forma activa al aire, aportando a la densidad de inóculo presente en dicho sitio (Ingold, citado por Stewart et al., 2001).

Este tipo de reproducción no solo representa una nueva fuente de inóculo primario bajo labranza cero, sino que, es a partir de ella que se generan

nuevas recombinaciones genéticas del hongo, resultando así en nuevos biotipos del mismo. Hongos como *D. tritici-repentis* y *D.teres*, son capaces de reproducirse sexualmente sobre rastrojo ubicados en la superficie (Stewart et al., 1997), siendo su formación nula o escasa en rastrojos enterrados (Zhang y Pfender, citados por Stewart et al., 2001).

La presión de inóculo en determinado sitio depende fundamentalmente de la cantidad de rastrojo y el grado de infección del mismo. Se puede tener la misma presión de inóculo con poco rastrojo altamente infestado que con un rastrojo con niveles menores de infestación pero presente en gran cantidad como se aprecia en el Cuadro 4 para esporas de *B. sorokiniana* sobre siembra directa (Díaz, 1996a).

Cuadro 4. Componentes de la presión de inóculo de *B. sorokiniana* al momento de la siembra del cultivo de invierno (Díaz, 1996a).

Antecedentes	g de rastrojo/m ²	No. de esporas/g de rastrojo	No. de esporas/m ²
Trigo	209,2	2200	460.420
Trigo	74,0	16317	1:207.240
Cebada	208,8	16125	3:366.990

La cantidad de inóculo primario es un indicador importante de la severidad en las enfermedades ocurridas durante la etapa del cultivo. En las condiciones de producción de Kansas (Estados Unidos), fue necesaria una inoculación de pseudotecios de *P. tritici-repentis* con 2500 - 100.000 por metro cuadrado para lograr un aumento significativo en el área debajo de la curva de enfermedad. Para severidades moderadas fue necesario inocular entre 12700-31200 pseudotecios por metro cuadrado mientras que severidades bajas ocurren con densidades de inóculo de 127-3120 por metro cuadrado (Bockus y Wand Claassen, 1992).

La cantidad de rastrojo depende de varios factores como: rendimiento del cultivo que le dio origen, índice de cosecha, condiciones ambientales post-cosecha, tipo de suelo. El nivel de infestación del rastrojo depende de la cantidad de enfermedad desarrollada durante la etapa de cultivo (Pérez, 2004).

Frente a un rastrojo con igual nivel de infestación, Rees (1982) concluyeron que a medida que hubo mayor cantidad de rastrojo, se observaron mayores niveles de severidad en etapas más tempranas del cultivo. Por otro lado, a medida que avanzó el ciclo del cultivo, la cantidad de rastrojo fue perdiendo importancia relativa como fuente de inóculo, al punto que 10 días luego de fin de floración (Z 69), no existieron prácticamente diferencias en la severidad (Figura

6). Esto es explicado por una disminución de la importancia relativa del inóculo primario (ascosporas producidas en el rastrojo) a medida que avanza el ciclo del cultivo, tomando mayor importancia el inóculo secundario (conidios producidos en lesiones foliares).

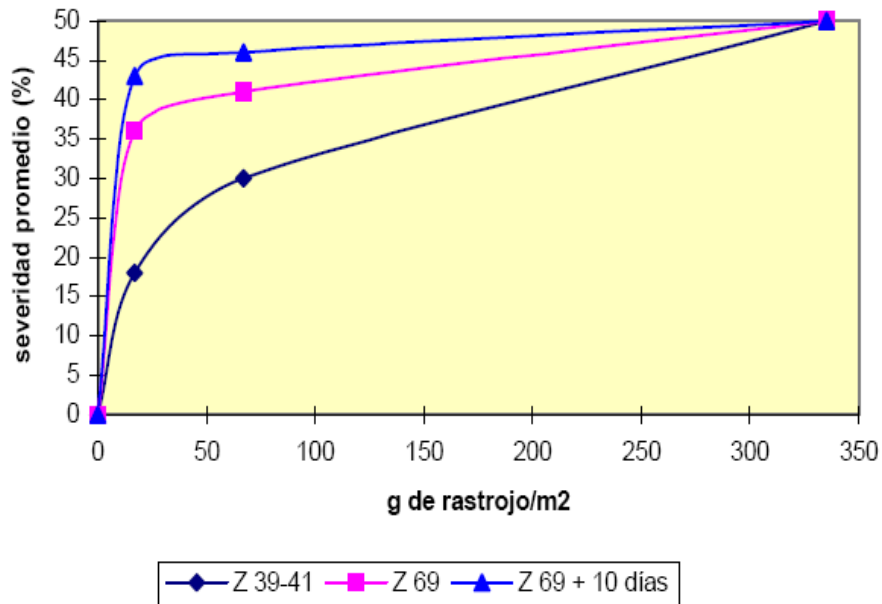


Figura 6. Relación entre cantidad de rastrojo de trigo sobre el suelo y severidad de mancha amarilla en el trigo siguiente (Rees et al., adaptados por Pérez, 1998).

A su vez, de los resultados obtenidos por Rees et al. (1982) es importante resaltar dos aspectos:

i) con relativamente poca cantidad de rastrojo se alcanzan altos niveles de severidad, si se dan las condiciones favorables (Figura 7).

ii) un mismo nivel de severidad a Z 69 + 10 días puede lograrse de maneras diferentes.

La manera en que se alcance dicho valor de severidad es la que explica la relación entre la cantidad de rastrojo en superficie y las pérdidas en el rendimiento de grano. Las mayores pérdidas obtenidas con una mayor cantidad de rastrojo se explica por un mayor nivel de infección en etapas más tempranas del ciclo del cultivo (Pérez, 1998).

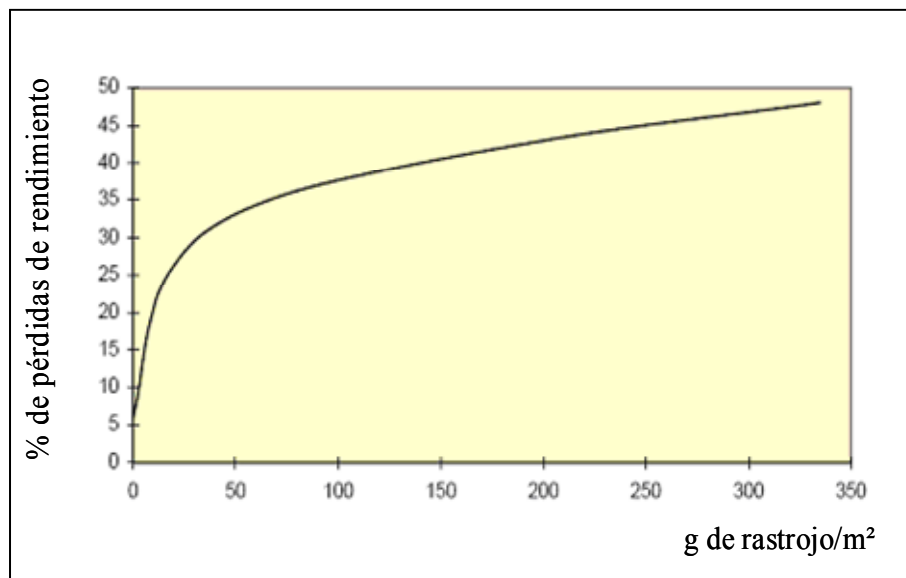


Figura 7. Relación entre la cantidad de rastrojo y las pérdidas obtenidas en el rendimiento de grano (Rees et al., adaptados por Pérez, 1998).

La presencia de rastrojo infestado afecta tres parámetros epidemiológicos de la enfermedad: el momento de inicio, la tasa de desarrollo y la intensidad máxima alcanzada. Cuanto más temprano en el ciclo se da la epifita, causa mayores pérdidas de rendimiento ya que afecta el número de granos y el peso de estos (Pérez, 1998).

Sin embargo, Fernández et al. (1998) concluyeron que para enfermedades como las manchas foliares que sobreviven en el rastrojo, la cantidad de rastrojo no es un buen indicador del desarrollo de las mismas. Factores como la edad de los rastrojos, la cantidad y la estratificación de los mismos, tratamientos con herbicida y condiciones ambientales durante y antes de la etapa de crecimiento del cultivo son determinantes de la importancia de los rastrojos como fuente de inóculo para la próxima zafra.

2.6 ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA DISMINUIR LA PRESIÓN DE INÓCULO

El manejo integrado de enfermedades tiene como objetivo evitar o reducir las pérdidas y así maximizar las ganancias. El mismo incluye el uso de todas las medidas de control disponibles intentando racionalizar la utilización de fungicidas (Díaz et al., 2008). En tal sentido, es fundamental la prevención de

ocurrencia de epifitias, y para ello la reducción de la presión de inóculo cumple un rol preponderante.

En sistemas con siembra directa la presión de inóculo puede ser reducida de dos formas: i) mediante los distintos manejos del rastrojo; ii) mediante rotaciones (Pérez, 1998).

2.6.1 Manejos del rastrojo

En cuanto a los manejos del rastrojo se puede realizar: la quema controlada del mismo, enfardado o pastoreo directo, así como el picado del rastrojo. Con la quema se busca disminuir la cantidad de rastrojo, y por consiguiente, la cantidad de patógenos que en él sobreviven. La práctica de quema de rastrojo reduce de manera importante la cantidad de rastrojo sobre la superficie del suelo, disminuyendo la fuente de inóculo por lo cual determina una menor infección del cultivo siguiente (Rees y Platz 1979, Cuadro 5). La eficiencia de esta medida está condicionada a la quema efectiva del rastrojo, ya que si la quema es despareja, donde quedan manchones sin quemar se concentra el inóculo para el cultivo siguiente (Pérez, 1998).

Cuadro 5. Efecto del manejo del rastrojo y el tipo de laboreo, sobre la cantidad de rastrojo remanente en superficie y la severidad de la mancha amarilla (*P. tritici-repentis*, Rees y Platz, adaptados por Pérez, 1998).

Rastrojo	Laboreo	Rastrojo en sup. (g/m²)	Lesiones en hoja primaria	Lesiones en hoja debajo de h. bandera
Retenido	Ninguno	152,9 a	11,8 a	51,3 a
Retenido	Convencional	32,2 b	2,4 b	33,3 b
Quemado	Ninguno	12,9 c	0,8 c	27,7 c
Quemado	Convencional	8,7 c	0,6 c	26,5 c

Valores en cada columna seguidos de la misma letra, no difieren significativamente al 5 %.

Las prácticas de manejo tales como la quema del rastrojo, el retiro parcial del mismo (pastoreado o enfardado), una distribución homogénea de la paja, manejo de la altura de cosecha, promueven la disminución en la cantidad de rastrojo en superficie, por lo tanto acortaría el periodo de supervivencia de los patógenos (Martino, Ausburger, citados por Stewart et al., 2001). Sin embargo, todas aquellas medidas que reduzcan el volumen de rastrojo remanente en

superficie parecen ser una solución parcial en el corto plazo, pero a largo plazo podrían limitar la sustentabilidad de los sistemas en siembra directa ya que elimina las entradas de carbono al suelo y pueden aumentar la tasa de erosión.

2.6.2 Rotación de cultivos

La práctica de controlar enfermedades mediante la rotación de cultivos es la menos agresiva al ambiente, siendo por eso la que más contribuye a la sustentabilidad ecológica de la agricultura, permitiendo el desarrollo y expansión del sistema de siembra directa (Carmona, 2008).

Las rotaciones, desde el punto de vista fitopatológico, tienen como objetivo reducir la población de patógenos mediante la no incorporación de fuentes de alimento hasta que los hongos hayan consumido todo el alimento disponible y hayan muerto por inanición. Al sembrar un cultivo susceptible cuando el patógeno aún está presente en el rastrojo, le permite al mismo multiplicarse, eliminándose el estrés nutricional al cual se lo somete en una rotación efectiva. Con el monocultivo, la sobrevivencia está asegurada, ya que cada seis o siete meses se vuelve a sembrar el mismo cultivo, dándole las mejores condiciones para su reproducción, debiendo sobrevivir bajo estrés sólo por unos meses (Pérez, 1998).

Una rotación efectiva desde el punto de vista sanitario se basa en rotar los cultivos siguiendo una secuencia de cultivos que incluya especies con diferente susceptibilidad frente a un mismo patógeno (Pérez, 1998). Así, la rotación de trigo y cebada con cultivos no-susceptibles a las enfermedades de ambos, es una manera de minimizar el sustrato nutricional del patógeno, dándole tiempo suficiente para que los microorganismos del suelo mineralicen el rastrojo, y el patógeno muera por inanición.

A pesar de esto, la habilidad de los patógenos de los cereales para colonizar rastrojos de especies que normalmente se consideran no-susceptibles, puede explicar por qué en algunos casos las rotaciones no resultan en reducciones efectivas de la población de patógenos. *Fusarium graminearum* y *B. sorokiniana* colonizan especies que se consideran no-susceptibles, sin parasitarlas, como por ejemplo el rastrojo de soja y algunas leguminosas forrajeras (lotus, trébol rojo, alfalfa, otras, Fernández y Santos, citados por Stewart et al., 2001). *Bipolaris sorokiniana* también se ha encontrado colonizando avena y maíz. Esto lleva a que el inóculo se mantenga viable durante meses, aunque su efecto en el desarrollo de la enfermedad en los cultivos subsecuentes aún no ha sido determinada (Stewart et al., 2001).

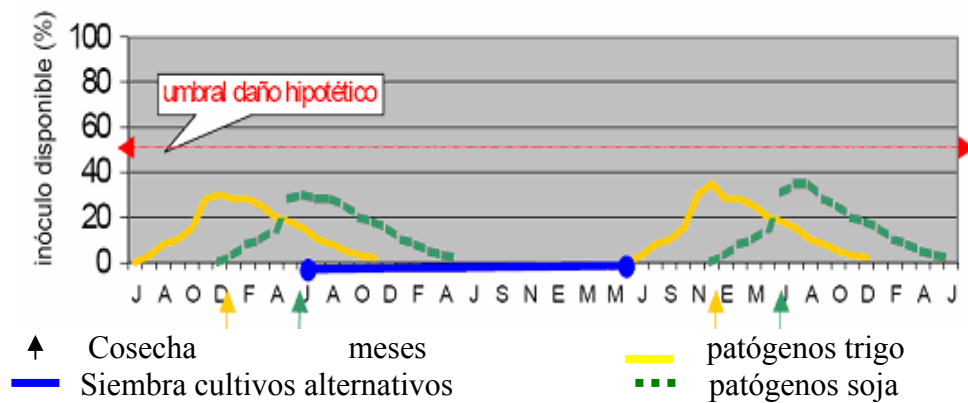


Figura 9. Dinámica de la población de patógenos necrotróficos bajo rotación de cultivos (hipotético, Stewart et al., 2004).

El tiempo que debe transcurrir entre dos cultivos susceptibles estará determinado por la permanencia del patógeno en la chacra. La forma más práctica de conocer la situación de la misma es verificando la presencia del rastrojo del último cultivo susceptible, ya que el rastrojo se va descomponiendo y el patógeno se va muriendo, por lo cual la presión de inóculo va disminuyendo progresivamente a partir del momento de la cosecha del cultivo (Stewart et al., 2001).

Los microorganismos que viven en el suelo descomponen los compuestos orgánicos naturales como los restos de cultivo. En este proceso los tejidos son degradados por enzimas microbianas. La temperatura, oxígeno, humedad, pH, nutrientes inorgánicos y la relación carbono: nitrógeno del rastrojo, son entre otros, los que determinan la tasa de descomposición. Otros factores como el volumen, la altura de corte, la posición, el tamaño y la distribución de los fragmentos del rastrojo, también influyen en la velocidad de descomposición. En siembra directa, la tasa de descomposición del rastrojo es más lenta, ya que al estar en superficie, el acceso de los microorganismos para su degradación se ve dificultado (Stewart et al., 2001).

Según datos publicados por Ernst et al. (2002), en promedio a los 180 días de descomposición, período que normalmente separa la cosecha de un cultivo de la siembra del mismo cultivo en la zafra siguiente, aún estaría presente el 82% del rastrojo de trigo en siembra sin laboreo, teniendo en cuenta que se podría haber sobrestimando la cantidad de rastrojo residual por un déficit hídrico registrado durante el período experimental. En otra investigación mostraron que, a los dos meses de cosechado, el rastrojo perdió el 45 % de su peso en cero laboreo mientras que rastrojo mezclado en el suelo perdió un 82 % de su peso

inicial (Mc Calla y Duley, citados por Parr y Papendick, 1978). Estos resultados evidencian un mayor riesgo sanitario en los sistemas sin laboreo debido a la lenta descomposición del rastrojo y a la presencia de patógenos capaces de sobrevivir en el mismo.

Investigaciones recientes muestran que en promedio recién a los 15-18 meses luego de la cosecha se está frente a una situación de menor riesgo sanitario para reintroducir estos cultivos en el sistema, debido a la presencia de sólo el 21.5% y 33.9% del rastrojo presente a la cosecha de trigo y cebada respectivamente (Figura 10; Stewart et al., 2001).

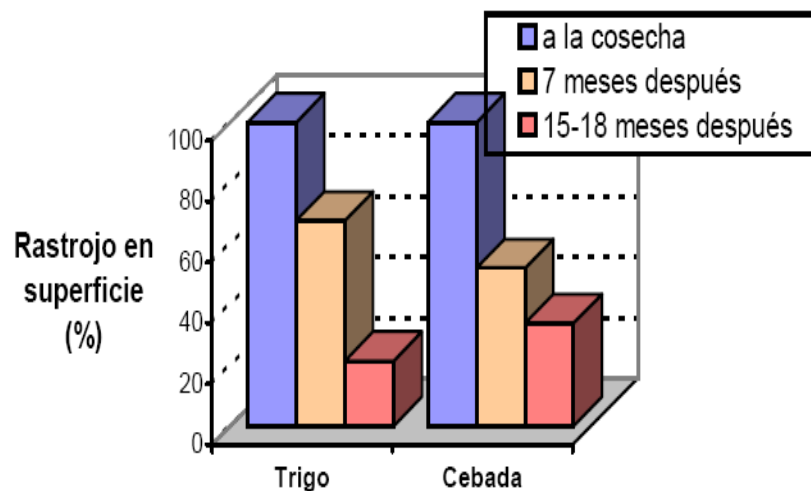


Figura 10. Cantidad de rastrojo de trigo y cebada en superficie en tres fechas distintas (Stewart et al., 2001).

Por otro lado, si se considera el efecto del cultivo anterior sobre la descomposición de rastrojo de trigo en la superficie del suelo, las tasas diarias de pérdidas de peso del rastrojo de trigo sobre rastrojo de soja tendió a ser mayor que sobre rastrojo de maíz (0,13% contra 0,092% respectivamente, $p < 0,019$), lo que determinó diferencias significativas en el peso seco residual en etapas avanzadas de la descomposición (Ernst et al., 2002). Esto indica que la secuencia de cultivos puede afectar la tasa de descomposición del rastrojo según las especies que integren dicha secuencia.

Según Utermark (1995) la densidad de inóculo en el rastrojo está fuertemente determinada por la rotación (Figura 11). Al comparar la densidad de inóculo presente en el rastrojo en un sistema en monocultivo de cebada contra un sistema de rotación de un año cebada y tres años de pastura con lotus (*Lotus corniculatus*), la evolución de la cantidad de conidios de *B. sorokiniana* por

gramo de rastrojo de cebada fue marcadamente distinta. En ambos tratamientos el nivel de infección del rastrojo del primer cultivo fue el mismo y a partir de la cosecha comienza a disminuir el inóculo. En el caso de monocultivo (cebada sembrada sobre rastrojo de cebada) los rastrojos generados año tras año están cada vez más infectados como resultado de los niveles de enfermedad observados en el cultivo asociados a la mayor presión de inóculo en dicho tratamiento. Mientras que el rastrojo de cebada que permanece en superficie luego de sembrada la pastura de lotus, disminuye en forma importante el nivel de infestación durante el primer año, y luego a largo del ciclo del lotus se mantiene con niveles bajos, reduciendo la presión de inóculo por una disminución de la cantidad de rastrojo de cebada debido a su descomposición. En concordancia con esto, Bailey y Duczek (1996) mencionan que el monocultivo conduce a un aumento del inóculo en el rastrojo y la severidad de enfermedad, mientras que la diversidad de rotaciones de cultivos reduce estos efectos.

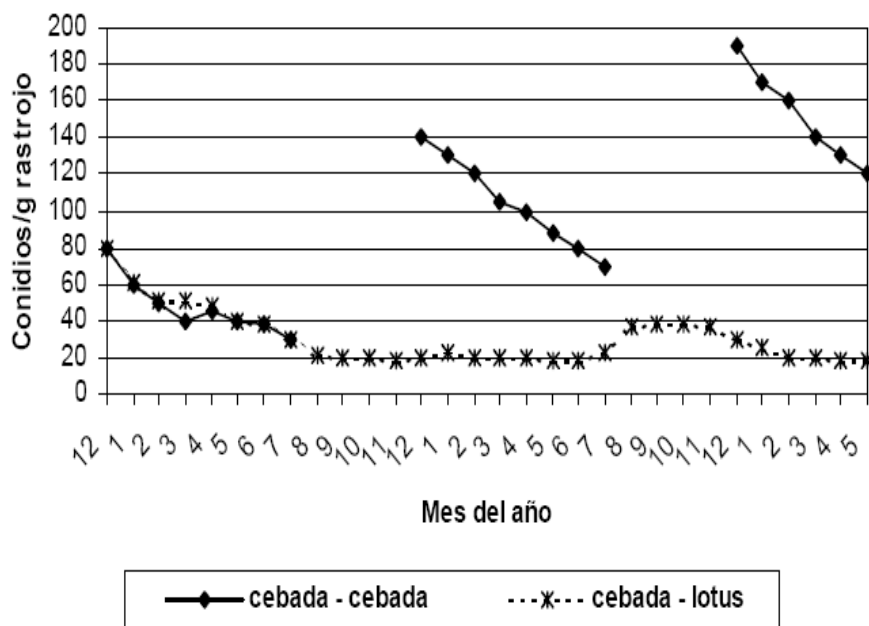


Figura 11. Evolución del inóculo de mancha en red en el rastrojo de cebada, según la secuencia de cultivos (Gamba, citado por Utermark, 1995).

De acuerdo con los resultados obtenidos por Carmona (2003a) la rotación de cultivos bajo siembra directa, con un intervalo de uno ó más inviernos (1999 y 2000), fue significativamente eficiente al reducir la incidencia y severidad de las manchas foliares (Cuadro 6). En concordancia con Bailey et al., Duczek et al., citados por Krupinsky et al. (2002) mencionan que con breves descansos sin trigo de uno o dos años se disminuye el inóculo y el riesgo de ocurrencia de enfermedades.

Cuadro 6. Efecto de la rotación sobre los niveles de la mancha amarilla en trigo causada por *Pyrenosphora tritici- repentis* (Carmona, 2003a).

Sistema	% Incidencia		% Severidad	
	1999	2000	1999	2000
Monocultivo	27 a	44 a	0.6 a	2.7 a
Rotación	12 a	16.5 b	0.2 a	0.3 b

Cultivo antecesor de trigo: avena.

Medias seguidas por las mismas letras dentro de cada columna, no difieren significativamente al 5 % de probabilidad.

Según datos publicados con un invierno sin trigo es suficiente para reducir significativamente la intensidad de manchas foliares del trigo (Sturz y Bernier 1989, Bailey y Duczek 1996, Santos et al., citados por Moraes Prestes et al. 2002, Krupinsky et al. 2007), aunque con dos inviernos sin trigo se obtuvieron mejor rendimiento promedio de grano (Moraes Prestes et al., 2002).

Distintos largos de rotacion de cultivos afectan la incidencia de *P. tritici-repentis* en los distintos estados fenológicos del cultivo de trigo, siendo la rotación con monocultivo de trigo la más afectada en cuanto a la incidencia, viéndose reflejado en los rendimientos en grano (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto del sistema de rotación sobre la incidencia (%) de manchas foliares en trigo (modificado a partir de Moraes Prestes et al., 2002).

Estado Fenológico	Secuencia		
	I	II	III
Macollaje	23a	5c	11b
Elongación	32a	11b	11b
Embuche	33a	19b	18b
Floración	69a	58b	56b
Rendimiento	2406c	2793b	2982a

Medidas seguidas de la misma letra en la horizontal, no presentan diferencias significativas, a 5% de probabilidad.

Secuencias: I trigo/soja; sistema II: trigo/soja y maíz o sorgo; sistema III: trigo/soja, avena negra o avena blanca/soja y maíz o sorgo.

En síntesis, el problema sanitario en los cultivos bajo cero laboreo adquiere una gran importancia ya que la permanencia del rastrojo en superficie es fundamental para la sustentabilidad del sistema, favoreciendo así a la permanencia de los patógenos en la chacra.

El presente estudio tiene como objetivo principal generar información para un manejo racional y sustentable de los patógenos presentes en el rastrojo en sistemas agrícolas sin laboreo. Específicamente se busca determinar el largo de rotación mínimo para reducir el impacto de las manchas foliares sobre el cultivo de trigo.

2.7 HIPÓTESIS PRINCIPALES

- a) Existe correlación entre la presión de inóculo presente en el rastrojo y los niveles de severidad de mancha amarilla.
- b) La presión de inóculo de las enfermedades en cuestión puede ser manejada mediante la elección de los cultivos a ser incluidos en la secuencia.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN Y PERÍODO EXPERIMENTAL

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC), de la Facultad de Agronomía, ubicada en el km 363 de la Ruta Nacional No. 3, en el Departamento de Paysandú. El mismo fue realizado en el potrero número 36 (32°21'58"S; 58°03'56"O). Si bien el experimento está instalado desde 1999, en el presente estudio sólo se analizan los resultados obtenidos en la zafra 2009 comprendida entre junio y noviembre de dicho año.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento fue iniciado en el año 1999. En el mismo se comparan cuatro secuencias de distinto largo de rotación (Cuadro 8) con el objetivo de cuantificar el efecto del largo de rotación sobre la epidemiología de la mancha amarilla del trigo causada por *P. tritici-repentis*.

Cuadro 8. Secuencias de cultivos estudiadas en el experimento.

Secuencia 1	Trigo - Girasol – Trigo...
Secuencia 2	Trigo - Girasol - Cebada - Soja - Trigo ...
Secuencia 3	Trigo - Sorgo - Cebada - Maíz - Avena - Girasol - Trigo...
Secuencia 4	Trigo – Soja – Cebada – Girasol – Avena/Lotus – Lotus 2 ° año – Trigo...

Así, la secuencia 1 corresponde al monocultivo de trigo, mientras las secuencias 2, 3 y 4 dejan uno, dos y tres años sin trigo, respectivamente. Dentro de cada secuencia podemos encontrar uno o más tratamientos según el largo de la misma. Para eliminar el efecto año, todos los cultivos que integran cada secuencia están presentes todos los años, por lo que se cuenta con un total de 10 tratamientos como se detalla en el Cuadro 9. En el presente estudio solo se analizan los cuatro tratamientos que tuvieron trigo en el invierno 2009 (sombreados en el Cuadro 10), de modo de comparar el efecto del largo de rotación sobre las manchas foliares de este cereal.

Cuadro 9. Cultivo sembrado en cada tratamiento y secuencia correspondiente a cada uno, para los años 2006, 2007, 2008 y 2009.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secuencia	1	2	2	3	3	3	4	4	4	4
2006	Trigo	trigo	cebada	avena	trigo	cebada	Trigo	cebada	avena/L	Lotus
	Girasol	girasol	soja	girasol	sorgo	maíz	Soja	girasol	lotus	Lotus
2007	Trigo	Cebada	trigo	trigo	cebada	avena	Cebada	av/L	lotus	Trigo
	Girasol	soja	girasol	sorgo	maíz	girasol	Girasol	lotus	lotus	Soja
2008	Trigo	trigo	cebada	cebada	avena	trigo	av/L	lotus	trigo	cebada
	Girasol	girasol	soja	maíz	girasol	sorgo	Lotus	lotus	soja	girasol
2009	Trigo	cebada	trigo	avena	trigo	cebada	Lotus	trigo	cebada	avena/L

El diseño experimental fue de bloques completos, con parcelas aleatorizadas con tres repeticiones. El tamaño de las parcelas (unidad experimental) fue de 300 m² (10 x 30 metros) con separaciones entre parcela de 3 metros y 10 metros entre bloques.

Cuadro 10. Diseño experimental y uso del suelo (invierno 2009) con la ubicación de cada tratamiento en los distintos bloques.

	Parcela									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bloque I	T 7 Lotus	T 2 Cebada	T 3 Trigo	T 6 Cebada	T 9 Cebada	T 10 Avena/ Lotus	T 4 Avena	T 5 Trigo	T 1 Trigo	T 8 Trigo
Bloque II	T 8 Trigo	T 7 Lotus	T 2 Cebada	T 5 Trigo	T 4 Avena	T 1 Trigo	T 9 Cebada	T 6 Cebada	T 10 Avena/ Lotus	T 3 Trigo
Bloque III	T 1 Trigo	T 5 Trigo	T 4 Avena	T 10 Avena/ Lotus	T 3 Trigo	T 7 Lotus	T 2 Cebada	T 8 Trigo	T 9 Cebada	T 6 Cebada

3.3 MANEJO DE LOS CULTIVOS

La siembra de los cultivos de invierno se realizó el 6 de junio de 2009 con una sembradora Semeato SHM-11 de 11 surcos. La densidad de siembra para trigo y cebada fueron de 40 – 45 semillas/m de surco (una población objetivo de 35 plantas/m lineal) y para avena fue de 100 kg/ha. La distancia entre surco fue de 17 cm para los tres cultivos. Previo a la siembra, la semilla fue curada con

0,05 g de Flutriafol por kg de semilla (Vincit 50 ml diluidos en 1,5 l de agua/50 kg de semilla). El lotus, previamente inoculado con rizobio, fue sembrado al voleo a una densidad de 10 kg/ha al momento de la siembra de la avena. Las variedades utilizadas para cada cultivo se presentan en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Cultivares utilizados por cultivo.

Cultivo	Cultivar
Trigo	Biointa 1001
Cebada	Ambev 293
Avena	RLE 115
Lotus	San Gabriel

Para la fertilización se siguió un manejo de nutrientes que no fuera limitante para la generación y concreción de rendimiento sin tener en cuenta el efecto del nitrógeno sobre la calidad del grano de cebada, ya que el grano no es destinado a la comercialización. Así, se corrigió el nivel de nitratos del suelo a la siembra y a Z 22, y luego se refertilizó en base a % de N en planta a Z 30 siguiendo el modelo de Baetghen (1992).

El control de malezas fue realizado de modo que las mismas no interfirieran en el crecimiento y desarrollo del cultivo. Se realizó una aplicación de glifosato de 192 grs/ha de equivalente ácido (Panzer Gold a una dosis de 4 L/ha) previo a la siembra y el 17 de julio se realizó una aplicación de 115 grs. de Hussar y 5 grs. de Metsulfuron con un volumen de 100 l/ha de caldo.

3.4 DETERMINACIONES REALIZADAS

3.4.1 Densidad de inóculo

La presión de inóculo (conidios/m²) de *Drechslera tritici-repentis* (anamorfo de *Pyrenophora tritici-repentis*) fue determinada en base a la cantidad de rastrojo presente por unidad de área y al número de esporas por gramo de rastrojo. La determinación se basó en el método descrito por Pereyra y Dill-Macky (2008).

Se realizaron dos muestreos de rastrojo, a la siembra (8 de junio) y al inicio de la floración (1 de octubre). Para ello se utilizaron cuadros de 0,5 x 0,5 m, bolsas de papel y tijeras de aro. Las muestras fueron tomadas a no menos de

1,5 m del borde de la parcela para que fueran lo más representativas posibles de cada tratamiento y evitar contaminaciones de parcelas vecinas.

Se tomaron tres sub-muestras totalmente al azar por parcela, en las cuales se recogió la totalidad del rastrojo que se encontraba en la superficie del suelo dentro del cuadro. Las tres sub-muestras fueron mezcladas y conservadas en una única bolsa de papel por parcela y correctamente identificadas, constituyéndose en una muestra compuesta por parcela. Dichas muestras fueron secadas en una estufa de aire forzado a 45 °C durante 48 horas. Posteriormente se determinó el peso de la materia seca de cada muestra.

Inmediatamente de pesado se procedió a la clasificación del rastrojo del bloque II según composición botánica, el cual se clasificó en cuatro categorías: i) Invierno, ii) No gramíneas, iii) Gramíneas, iv) Picadillo. Esto se realizó para observar si hay relación entre el inóculo y el tipo de rastrojo que hay en el suelo.

Para determinar el número de conidios de *Dreschlera tritici-repentis* por metro cuadrado se realizaron diluciones de rastrojo en agua siguiendo una adaptación de los métodos descritos por Pereyra y Dill-Macky (2008). Brevemente dicha técnica consistió en tomar aleatoriamente 10 gramos de rastrojo de cada parcela de los bloques I y III, mientras que para el bloque II se tomaron 10 gramos de cada una de las cuatro categorías antes mencionadas.

De estos 10 gramos de rastrojo se tomó 1 gramo que fue puesto en bandejas de aluminio con arena para poder incubar el rastrojo con humedad de forma de homogeneizar las condiciones ambientales entre los muestreos, favorecer la esporulación de los hongos allí presentes y poder tener una mejor estimación del potencial de inóculo de dicho rastrojo. Entre el rastrojo y la arena se ubicó una hoja de papel de filtro Watman #1 para evitar que el rastrojo se mezclara con la arena. Las bandejas de aluminio con arena y el papel de filtro fueron previamente esterilizados en autoclave en un ciclo de autoclavado de una hora. El rastrojo de dicho gramo fue cortado en trozos no mayores a dos centímetros de largo, y el mismo fue depositado sobre el papel de filtro previamente humedecido con agua estéril. Cada bandeja fue incubada a 22-25 °C y humedecidas cuando fuera necesario para dar las mejores condiciones de humedad necesarias para la estimular la esporulación de los hongos presentes.

Luego de 21 días de incubación, cada bandeja fue retirada de la incubadora, se tomó la totalidad del rastrojo (un gramo) presente en cada bandeja

y se depositó en un Erlenmeyer con 20 ml de agua desionizada estéril, al cual se le agregó una gota de jabón líquido para disminuir la tensión superficial del agua. Cada Erlenmeyer fue agitado para favorecer el mojado del rastrojo y dejado en reposo a 22-25°C por 10-12 horas para permitir la liberación de las esporas. Luego, cada Erlenmeyer fue agitado durante 10 minutos, para luego tomar tres alícuotas de 1 ml cada una y se colocaron en tubos de ensayo separados. Para realizar el conteo de cada alícuota se tomó una gota de volumen conocido (0,02 ml) y se colocó en portaobjetos con cubreobjetos de 20 x 20 mm, procediéndose luego al conteo visual de esporas en microscopio con aumento de 200X.

El número de esporas encontradas de cada patógeno en cada alícuota fue registrado y promediado entre las tres alícuotas analizadas. Se determinó el número de conidios/g de rastrojo de *Drechslera tritici-repentis*, *Fusarium graminearum* y *Bipolaris sorokiniana*. Para conocer la cantidad de esporas por gramo de rastrojo, el número de esporas de cada alícuota fue prorrateado, en base al volumen de la dilución. Para estimar la presión de inóculo por metro cuadrado, el número de esporas por gramo de rastrojo fue multiplicado por la cantidad de rastrojo por unidad de superficie.

3.4.2 Cuantificación de pseudotecios de *Pyrenophora tritici-repentis*

Para esta cuantificación se tomó una muestra de rastrojo representativa de cada tratamiento, tanto para el muestreo de junio como de octubre. Para determinar la permanencia de pseudotecios en el rastrojo a través de los años se diferenció el rastrojo en tres tipos según edad: i) un año; ii) dos años; iii) tres años. El conteo se hizo sobre una submuestra de cada tipo de rastrojo y con 3 repeticiones de un gramo cada una. Para observar cada estructura de hongo se utilizó una lupa (40X).

Para la cuantificación de la densidad de inóculo al no contar con los datos de peso de rastrojo de trigo, se tomo en cuenta para su estimación los datos publicados por Ernst et al. (2002) donde menciona que en un año seco, las tasas diarias de pérdida de peso del rastrojo de trigo sobre rastrojo de soja fueron de 0,13 % y sobre rastrojo de maíz fue de 0,092 %. Para la rotación con un año sin trigo se toma una tasa de descomposición de 0,13% por día durante un año y medio, período donde se cosechó el último trigo de la rotación. Para la rotación de dos años sin trigo se utilizó la misma metodología pero con una tasa de descomposición de 0,092 % diario. Según estos datos, los pesos del rastrojo por

composición botánica del rastrojo de invierno y la secuencia de cultivos, se estimó la cantidad de rastrojo de trigo presente de cada tratamiento.

3.4.3 Cuantificación de la severidad de mancha amarilla

El 18 de agosto se observaron los primeros síntomas de manchas foliares en el cultivo de trigo y eso determinó el inicio de la estimación de la severidad, realizándose lecturas semanales hasta el 28 de octubre, momento en que el estado de senescencia natural del cultivo estaba tan avanzado que dificultaba la estimación de enfermedades.

La estimación visual de la severidad (% de tejido foliar afectado por manchas foliares) se realizó en cada hoja del tallo principal de cuatro plantas aleatoriamente seleccionadas en cada estación de muestreo. Se realizaron tres estaciones de muestreo aleatoriamente distribuidas en cada parcela de trigo. Por consiguiente la severidad se determinó en un total de 12 tallos principales por parcela.

Cabe destacar que la evolución de la enfermedad esta encubierta por el método de lectura realizado (severidad), ya que las hojas muertas no se leen y se puede estar sobreestimando la enfermedad para un tratamiento con menor número de hojas verdes y viceversa para un tratamiento que tenga mayor cantidad de biomasa verde. Puede ocurrir que los tratamientos tengan un mismo porcentaje de severidad pero uno con más hojas que otro, por lo cual para tratar de eliminar esa posible fuente de error se analizó también la evolución de la enfermedad a partir de la biomasa verde, que fue calculado como $100 - \text{severidad}$ para cada una de las cinco hojas que tiene generalmente una planta de trigo en las condiciones de Uruguay, y que en el caso de hojas completamente muertas es igual a $100 - 100 = 0$.

3.4.4 Estimación del rendimiento

El 2 de diciembre se realizó una estimación de los componentes del rendimiento. Para la determinación del número de espigas por unidad de área, se colectaron manualmente todas las espigas comprendidas en dos transectas de 2 m lineales cada una aleatoriamente distribuida en la parcela. Se contó el número total de espigas colectadas por parcela y en base a la distancia entre surco se calculó el número de espigas por m^2 .

Para estimar el número de granos por espiga de las muestras colectadas el dos de diciembre se tomaron 20 espigas al azar y se trillaron en una trilladora de espigas. Por último, el peso de 1000 granos se estimó en base al peso de tres submuestras de 100 granos cada una tomadas al azar de cada muestra. El rendimiento real de la parcela se determinó mediante la cosecha con una cosechadora combinada John Deere 55 de 14 pies de ancho operativo, con una pasada por el centro de la parcela, o sea, se cosecharon los cuatro metros centrales por los 30 m de largo que tiene cada parcela. Se determinó el peso del grano cosechado, el % de humedad al momento de la cosecha con un higrómetro de grano entero DICKEY-Jhon multi-grain, y el peso hectolítrico con una balanza de peso hectolítrico. El rendimiento final fue corregido al 12% de humedad para homogeneizar la comparación entre tratamientos y por ser un valor de referencia en el mercado.

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó mediante el programa Info-stat versión 2009. Para el caso de la severidad de la enfermedad, el ANOVA se realizó mediante el modelo Submuestreo en un Diseño en Bloques Completos al Azar con Medidas Repetidas en el Tiempo: $Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij} + M_k + (\tau M)_{ik} + \delta_{ijk}$, mientras que para el resto de las variables se utilizó Diseño de Bloques Completos al Azar: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$

Donde:

i – 1; 3; 5; 8 tratamientos

j – 1; 2; 3 bloques

k – 69; 77; ...; 140 días post-siembra

Y_{ijk} - es el valor del i -ésimo tratamiento, en el j -ésimo bloque y

k -ésimo día

μ – media poblacional

τ_i – efecto tratamiento (T1; T3; T5; T8)

β_j – efecto bloque (B1; B2; B3)

ϵ_{ij} – error experimental entre U.E.

M_k – efecto medición (69; 77; ...; 140)

$(\tau M)_{ik}$ – efecto interacción tratamiento*medición

δ_{ijk} – error experimental entre mediciones dentro de U.E.

Cuando en el ANOVA la prueba de F dio significativo ($P < 0.10$) la separación de medias de los tratamientos para todas las variables se realizó mediante la prueba de Tukey ($P = 0.05$), con excepción de la variable rendimiento, para la cual se utilizó la prueba de MDS Fisher ($P = 0.10$).

Para el análisis estadístico de conidios/m² y de pseudotecios/m², estas variables fueron transformadas por la raíz cuadrada, con el objetivo de mejorar la condición de distribución normal de los valores y disminuir el coeficiente de variación.

3.6 CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL PERÍODO EXPERIMENTAL

Las principales variables climáticas (temperatura (T) promedio, T máxima, T mínima, HR, heladas y precipitaciones) ocurridas durante el período experimental fueron registradas en la estación meteorológica de la estación experimental M.A. Cassinoni, elevación 59 metros, latitud 33° 22' 23" S y longitud 58° 03' 45" O, Facultad de Agronomía, Paysandú.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO

El período experimental fue relativamente frío en las etapas iniciales del cultivo (Figura 12, Cuadro 12), luego a partir de octubre la temperatura media fue similar al promedio histórico (1960-1990). Durante el llenado de grano, mediados de octubre, la temperatura media fue de aproximadamente 18 °C, con temperaturas máximas promedio de 23 °C, aunque ocurrieron algunos picos de altas temperaturas hacia fin de mes.

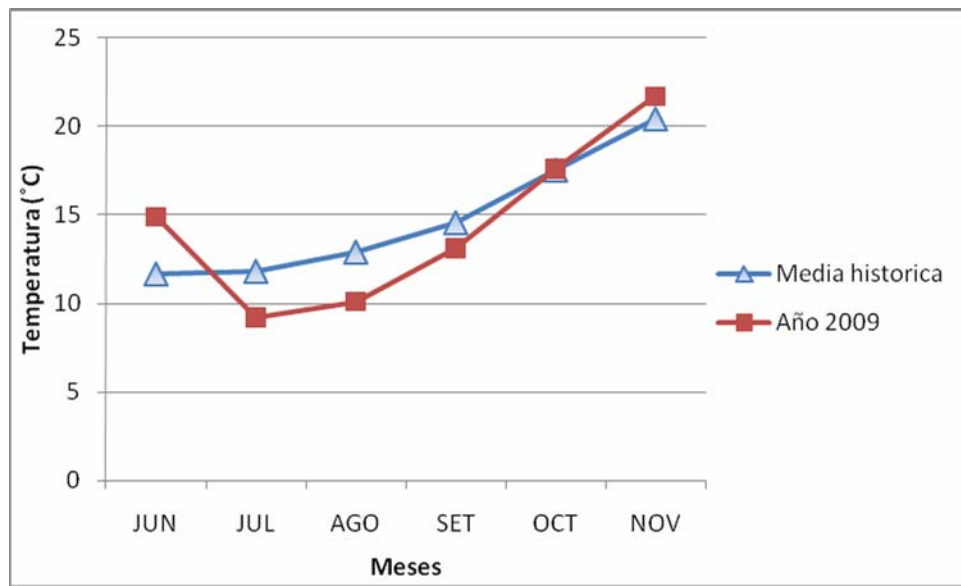


Figura 12. Temperatura media mensual durante el período experimental (Año 2009) y promedio histórico 1960 - 1990, para el sitio experimental.

Cuadro 12. Temperatura promedio máxima, mínima y media para el periodo junio- noviembre 2009 (datos obtenidos en la estación meteorológica de la EEMAC).

Temperatura (°C)	Mes					
	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
Media	14,6	9,2	10,1	13,1	17,6	21,7
Máxima	16,1	15	21	17,9	23,9	27,1
Mínima	4,6	4	8,3	8,1	10,7	16,9

Respecto a las precipitaciones, el año fue relativamente seco al inicio del ciclo del cultivo (junio – agosto), sin déficit marcados, mientras que ocurrieron abundantes precipitaciones en setiembre y noviembre (Figura 13). El número de días con eventos de lluvias fue elevado en setiembre y noviembre, con 13 y 18 días respectivamente (Cuadro 13).

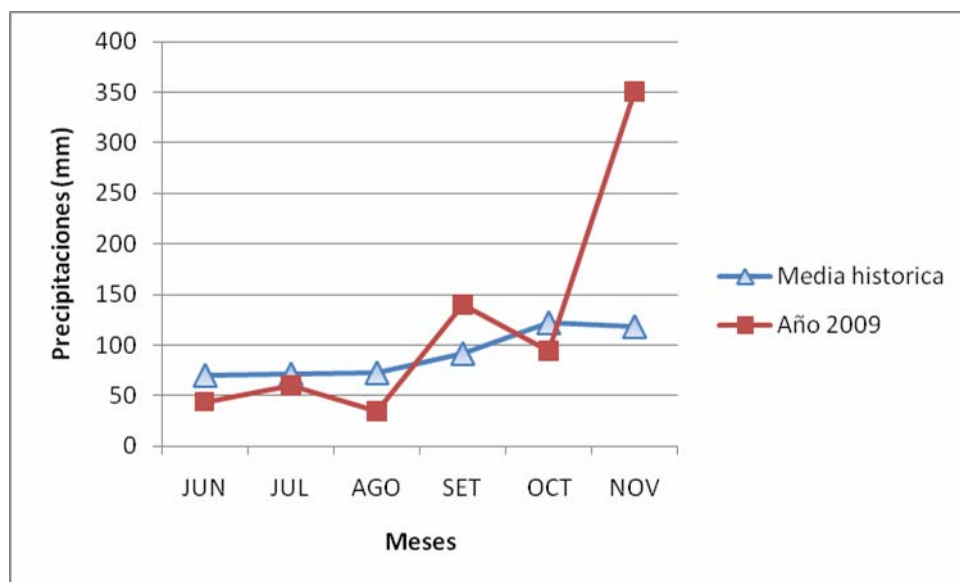


Figura 13. Precipitaciones promedio mensual durante el período experimental (Año 2009) y promedio histórico 1960 – 1990, para el sitio experimental.

Cuadro 13. Registros de días con precipitaciones para el periodo junio-noviembre 2009 (datos obtenidos de la estación meteorológica de la EEMAC).

	Mes					
	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
Días con pp	8	11	9	13	7	18

Respecto a la humedad relativa, la misma tuvo grandes variaciones donde los picos máximos (Figura 14) se correspondieron a los meses donde ocurrieron las mayores precipitaciones (Figura 13). Como se mencionó anteriormente, el periodo inicial del ciclo fue relativamente seco con humedad relativa baja, si la comparamos con los datos históricos (Figura 14).

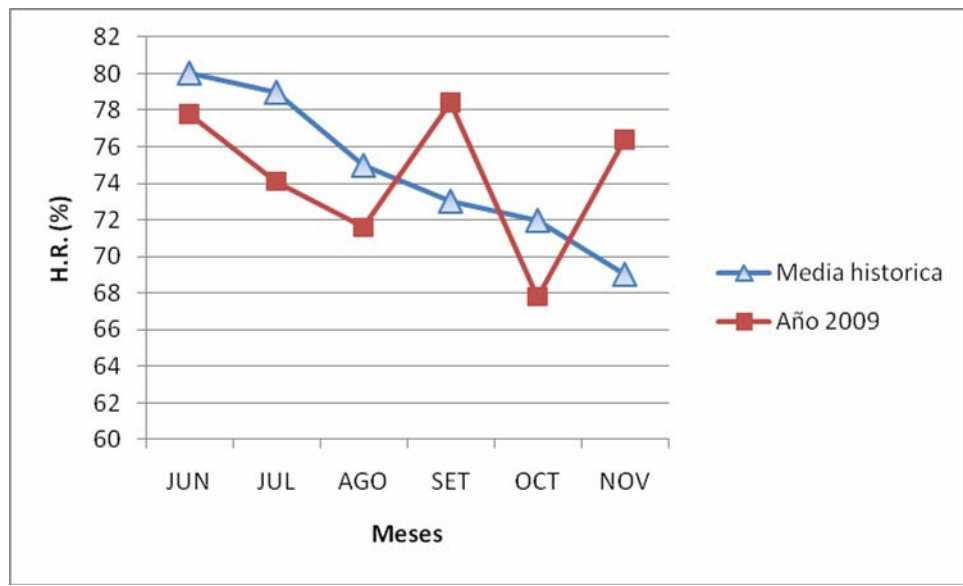


Figura 14. Humedad relativa (HR, %) promedio mensual del 2009 y el promedio histórico 1960 – 1990.

Como ya describimos, el año en estudio se caracterizó por ser fresco y seco a inicios del ciclo (junio-setiembre), y cálido y lluvioso a fines del ciclo del cultivo (noviembre). Estas condiciones favorecieron un buen desarrollo del cultivo, permitiendo una buena sincronización de los macollos, lo cual aumenta el potencial de rendimiento. Una buena sincronización de los macollos resulta en

una mayor supervivencia de los mismos, por tener un desarrollo similar y una mejor competencia por luz y nutrientes entre ellos (Hoffman et al., 2009).

Por otro lado, las condiciones climáticas a inicios del ciclo del cultivo no fueron favorables para el desarrollo de la mancha amarilla. Las condiciones óptimas para el desarrollo de esta enfermedad están dadas por temperaturas de 19 – 22 °C, con un rango de 10 – 31 ° C, así como la presencia de agua libre en la superficie foliar por períodos mayores a 18 horas (Pereyra et al., 2005). Sin embargo, la enfermedad estuvo presente y se observaron diferencias claras entre los tratamientos.

4.2 EFECTO DEL LARGO DE LA ROTACIÓN SOBRE LA SANIDAD DEL TRIGO

La enfermedad foliar predominante a lo largo del ciclo fue la mancha amarilla causada por *P. tritici – repentis*, aunque cabe destacar que a principios de octubre se observó la aparición de septoriosis (causada por *Septoria tritici*), en un porcentaje importante del área foliar afectado.

El tratamiento tuvo un efecto significativo sobre el desarrollo de la epidemia de mancha amarilla en el cultivo de trigo. Los primeros síntomas de *P. tritici – repentis* se observaron a partir de inicios de macollaje (Z22 – 23, a los 69 días post siembra = dps), en el tratamiento con monocultivo de trigo (Figura 15). Las primeras manchas en el tratamiento con un año sin trigo fueron observadas una semana más tarde (77 dps), mientras que en los tratamientos con dos y tres años sin trigo la enfermedad comenzó a observarse recién a los 92 dps.

El monocultivo de trigo, en todo momento, presentó los mayores niveles de severidad respecto al resto de los tratamientos (Tukey, $p=0.05$). Esta diferencia fue aumentando a medida que avanzó el ciclo del cultivo. Sin embargo, no se encontraron diferencias en la evolución de la epidemia en los tratamientos con rotación; donde uno, dos y tres años sin trigo resultaron en niveles similares de severidad a lo largo del ciclo (Tukey, $p=0.05$).

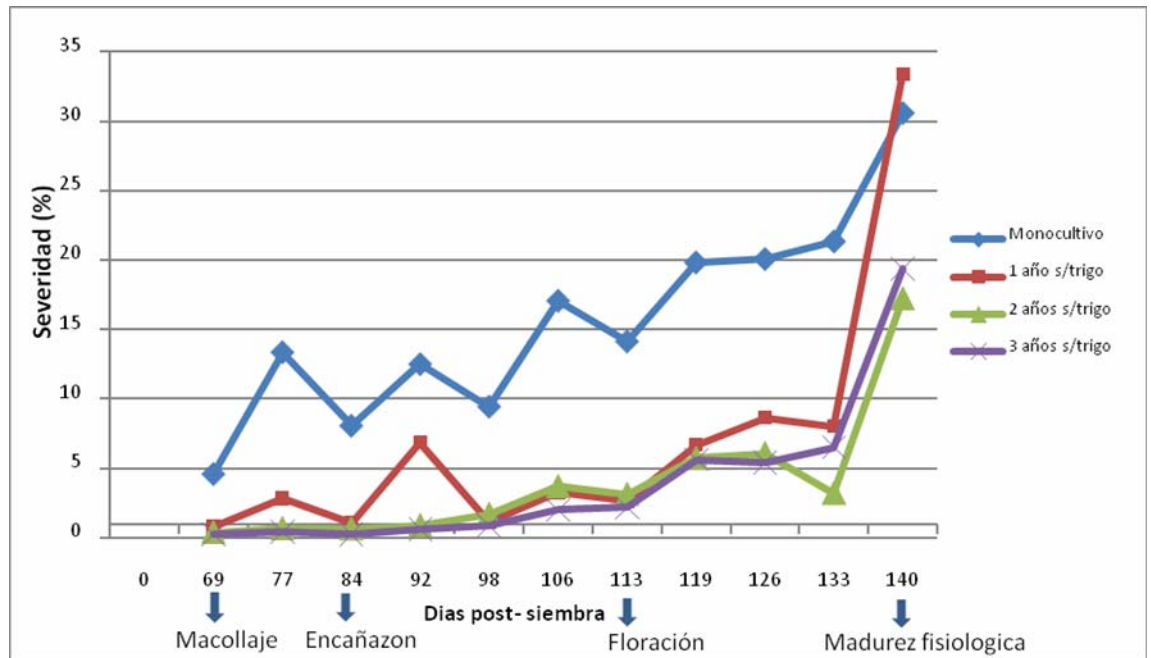


Figura 15. Evolución de la enfermedad (*Pyrenosphora tritici-repentis*) medida a través porcentaje de severidad en trigo según tratamiento. En anexo 4 se encuentra el ANOVA correspondiente.

Las mayores diferencias en severidad entre el tratamiento de monocultivo y el resto, se observó a partir de los 106 dps correspondiente a fines de espigazón- antesis, donde ocurrieron abundantes precipitaciones, temperaturas y humedades relativas adecuadas para el desarrollo de esta enfermedad, lo cual favoreció la dispersión del inóculo secundario. A fines del ciclo del cultivo ocurrió un aumento notorio en el porcentaje de severidad, principalmente los tratamientos de uno, dos y tres años sin trigo. Ello se explica, fundamentalmente, por el fin de ciclo del cultivo, donde la biomasa verde es aproximadamente un 20% del total de la biomasa producida, lo cual sugiere la probable sobrestimación de la enfermedad.

El monocultivo de trigo mostró un inicio de la enfermedad más temprano en el ciclo (Z22 – Z23) donde las condiciones climáticas no eran favorables para el desarrollo de la mancha amarilla debido a bajas temperaturas y con escasas precipitaciones. Pereyra y Díaz (2009) concluyen que si ocurren condiciones ambientales favorables, la presencia de rastrojo infectado asegura que la infección ocurra más tempranamente en comparación con la ausencia del mismo. Pérez (1998) afirma que la presencia de rastrojo infestado afecta tres

parámetros epidemiológicos de la enfermedad: el momento de inicio, la tasa de desarrollo y la intensidad máxima alcanzada. Esto se explica por una mayor presión de inóculo del patógeno, debido al escaso período entre la cosecha del trigo anterior y el actual, no permitiendo tiempo suficiente para la descomposición del rastrojo y asegurando la permanencia del inóculo en el lugar (Pereyra 1996, Bockus y Shroyer 1998, Pérez 1998).

Los tratamientos en rotación, ya sea de 1, 2 o 3 años sin trigo presentaron niveles de enfermedad significativamente menores que el monocultivo, ya que en estos hay menor inóculo inicial explicado por una menor supervivencia del hongo, resultando en que la enfermedad aparezca más tardíamente, con menor tasa de desarrollo y menor intensidad máxima, coincidiendo con Pereyra y Stewart (2004). Si se toma arbitrariamente un 5% de severidad como el nivel crítico para realizar un control químico.¹, el tratamiento con monocultivo llegó a dicho nivel en macollaje, mientras que el resto de los tratamientos recién en Z69, cuando el cultivo estaba ya en estados muy avanzados. Estos resultados coinciden con los publicados por Pérez et al. (2009b) para el mismo sitio experimental en los años 2007 y 2008.

Al cuantificar la severidad en distintos estados fenológicos, por estrato de hoja y por tratamiento se observó que el monocultivo siempre presentó mayores niveles de infección para cada uno de los estados de la planta así como por estrato de hoja, aún en estadios tempranos como macollaje (Z22, Figura 16). A su vez, en estadios más avanzados se observó una pérdida prematura de hojas basales en el tratamiento con monocultivo, resultando en una hoja menos por planta en Z65 y Z75, comparado con los otros tratamientos.

¹ Pereyra, S. 2009. Com. personal.

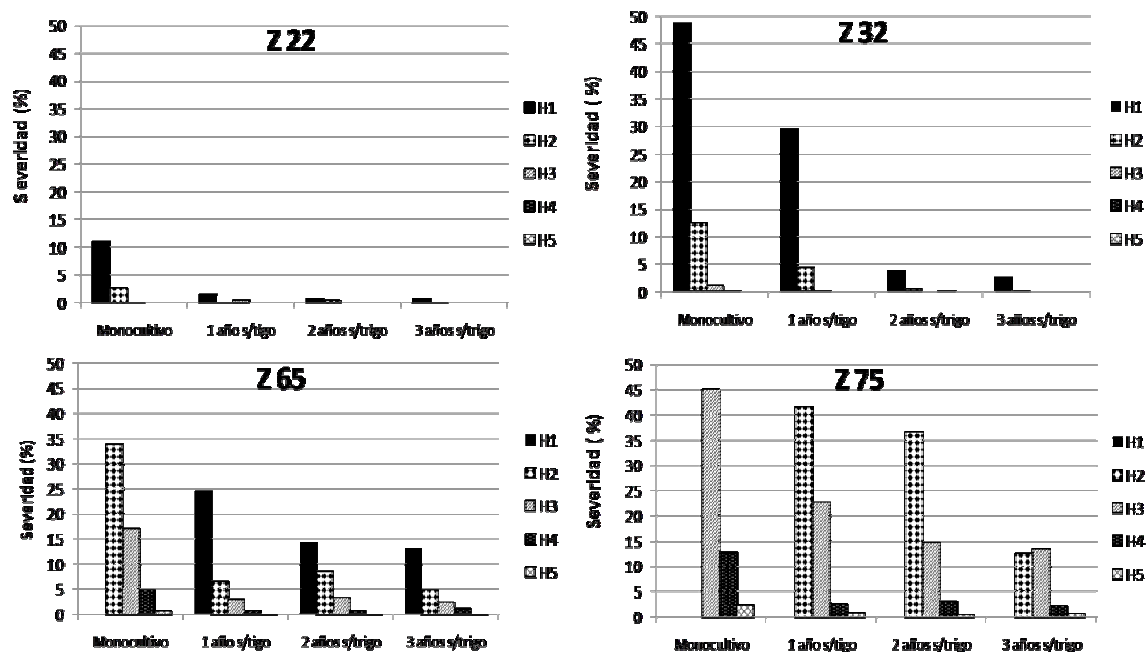


Figura 16. Evolución de la severidad de mancha amarilla determinada por hoja en distintos estados fenológicos del cultivo (escala Zadoks, Zadoks et al., 1974) para cada tratamiento. H1- H5 corresponde a cada hoja del tallo principal donde la H1 es la basal y la H5 es la apical.

Las diferencias observadas entre tratamientos respecto a los niveles de mancha amarilla son aún más evidentes si se analizan por estrato foliar. Así, la evolución de la epidemia fue, marcadamente, distinta en el monocultivo respecto al resto de los tratamientos. En el monocultivo, el trigo presentó altos niveles de severidad en las hojas inferiores muy temprano en el ciclo (inóculo primario), pasando, luego, la infección a las sucesivas hojas (inóculo secundario sumado al primario). Las hojas más viejas se perdieron antes que en los otros tratamientos, debido a las lesiones provocadas por los patógenos y al estrés que causan en la planta.

Uno de los factores más importantes para el desarrollo de las epifitias fueron las abundantes precipitaciones ocurridas en setiembre y noviembre. Esto probablemente, favoreció la dispersión del inóculo secundario entre plantas y hacia los estratos superiores de las mismas debido al salpicado de las gotas de lluvia (Annone, 2003). Las esporas de *P. tritici-repentis* son consideradas esporas pesadas, clasificadas como esporas “mojadas” o “mixtas”. Los conidios son, básicamente, diseminados por salpicado por gota de lluvia, por lo que se

consideran esporas “mojadas” altamente asociadas al agua para su diseminación. Por otro lado, las ascosporas son liberadas en presencia de agua libre y diseminadas por viento, por lo que se consideran “mixtas”²

Al analizar el nivel de enfermedad observado a lo largo del ciclo del cultivo mediante el AUDCPE, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. El monocultivo de trigo presentó la mayor cantidad de enfermedad, siendo significativamente mayor que el resto de los tratamientos (Figura 17). No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos donde se deja por lo menos un invierno sin trigo.

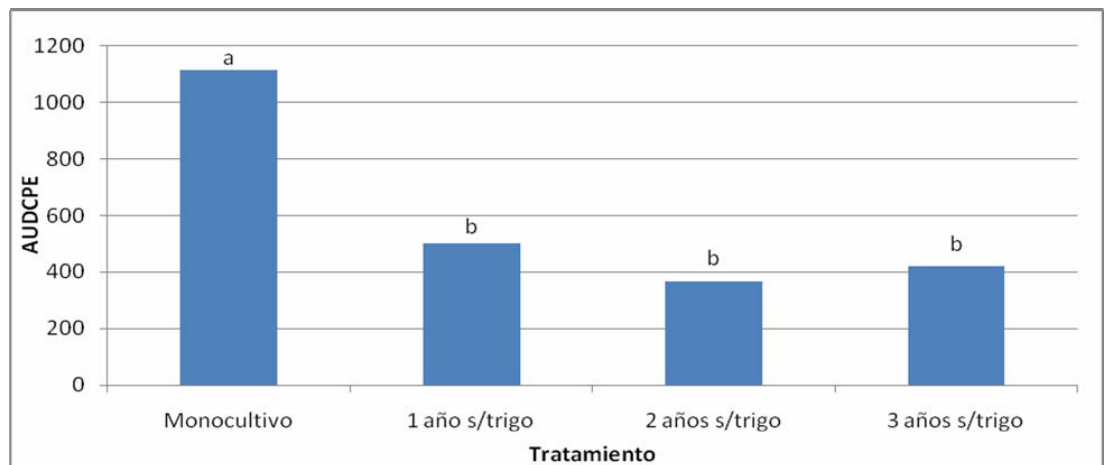


Figura 17. Efecto del largo de rotación sobre los niveles de mancha amarilla en trigo medida como área ubicada debajo de la curva del progreso de la enfermedad (AUDCPE). Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p=0,05$) entre tratamiento

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo, un invierno sin sembrar trigo sería suficiente para minimizar el efecto de la presión de inóculo del rastrojo sobre el desarrollo de la enfermedad, coincidiendo con la literatura revisada (Sturz y Bernier 1989, Bailey y Duczek 1996, Martino 1997, Moraes Prestes et al. 2002, Krupinsky et al. 2002, 2007, Carmona 2003a).

Para este estudio, el dejar un invierno sin sembrar trigo reduce en un 55% la cantidad de enfermedad en comparación al monocultivo. Estos datos coinciden con el rango de disminución presentados por Stewart et al. (2001), el cual varió entre 15 y 80% de disminución para los años 1996, 1997 y 1998.

² Pérez, C. 2009. Com. personal.

Díaz (1996b), Pérez (1998) mencionan, a diferencia de los anteriores autores, que sería necesario no sembrar cultivos susceptibles por al menos tres y cuatro años, respectivamente, para llegar a inóculo cero. En este sentido, Stewart et al. (2004) menciona que uno de los aspectos fundamentales para el control de las enfermedades mediante la rotación de cultivos, se basa en respetar el período requerido para la descomposición total del residuo; o sea, llegar a inóculo cero. Sin embargo, los resultados aquí obtenidos indican que no es necesario llegar a inóculo cero para volver a sembrar un cultivo susceptible, habiendo otras fuentes de inóculo de importancia que determinan el inicio de la epifitias, observándose similares desarrollos de enfermedades aún en rotaciones de uno a tres inviernos sin trigo.

Al comparar AUDCPE con los datos publicados por Pérez et al. (2009b) en el mismo experimento en años anteriores (Figura 18), se observa que los últimos tres años de evaluación (2007, 2008, 2009) presentan una distribución muy similar, siendo significativa la diferencia sólo para el tratamiento bajo monocultivo. Sin embargo, en el 2006 el tratamiento con un año sin trigo tuvo un comportamiento intermedio, no difiriendo del tratamiento con monocultivo de trigo.

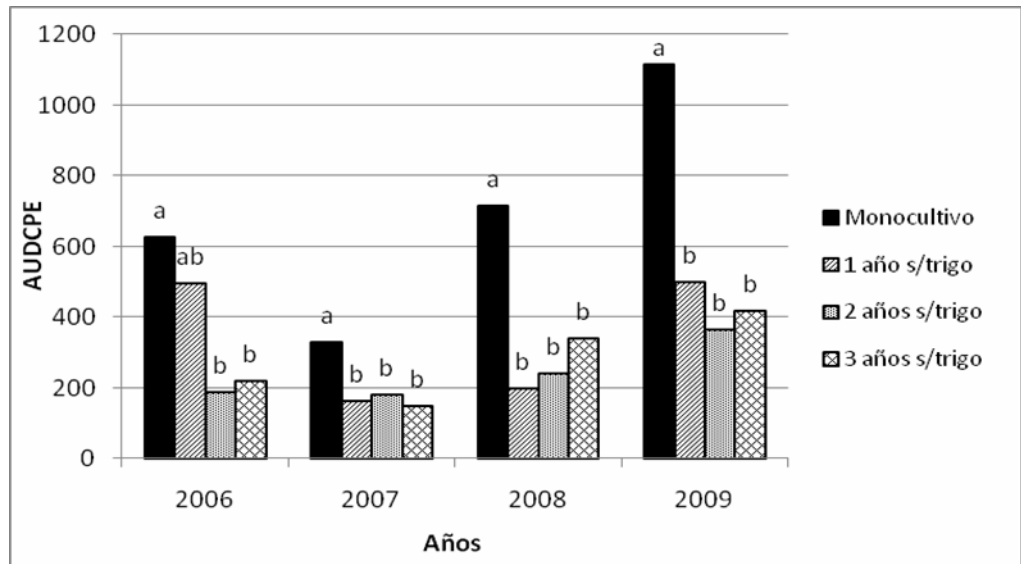


Figura 18. Efecto del largo de rotación sobre los niveles de mancha amarilla en trigo medida como área ubicada debajo de la curva del progreso de la enfermedad (AUDCPE), para los últimos 3 años evaluados previos al 2009 (Pérez et al., 2009b). Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p=0,05$) entre tratamientos dentro de un mismo año de evaluación.

Según la comparación realizada con los datos de años anteriores (Pérez et al., 2009), se puede concluir que dejar 2 o 3 años sin trigo siempre resultó en los menores niveles de enfermedad, no difiriendo entre ellos; mientras que, dejar un solo invierno sin trigo puede ser suficiente o no, dependiendo en mayor medida de las condiciones climáticas del año.

Por otra parte, en el año 2009 el experimento presentó los mayores niveles de enfermedad independientemente del tratamiento, debido a que ocurrieron condiciones ambientales más favorables que los años anteriores para el desarrollo de la mancha amarilla. A su vez, el déficit hídrico ocurrido durante los años 2008-2009, pudo haber disminuido la tasa de descomposición del rastrojo por parte de los microorganismos del suelo, resultando en una mayor cantidad de rastrojo remanente en el suelo. Ello define un mayor tiempo de supervivencia del patógeno al igual que lo indicado por Pérez (1998), aumentando la presión de inóculo.

4.3 EFECTO DEL LARGO DE ROTACIÓN SOBRE LA DENSIDAD DE INÓCULO DE *Pyrenophora tritici-repentis*

La densidad de inóculo (conidios/m²), fue significativamente mayor a la siembra (junio) respecto al muestreo de octubre (Figura 19). A su vez, se observó una significativa mayor presión de inóculo para el tratamiento bajo monocultivo, respecto a los tratamientos con uno, dos y tres años sin trigo. Esto se observó en mayor medida para el muestreo realizado previo a la siembra, mientras que en octubre las diferencias fueron marcadamente menores aunque significativas (Figura 20).

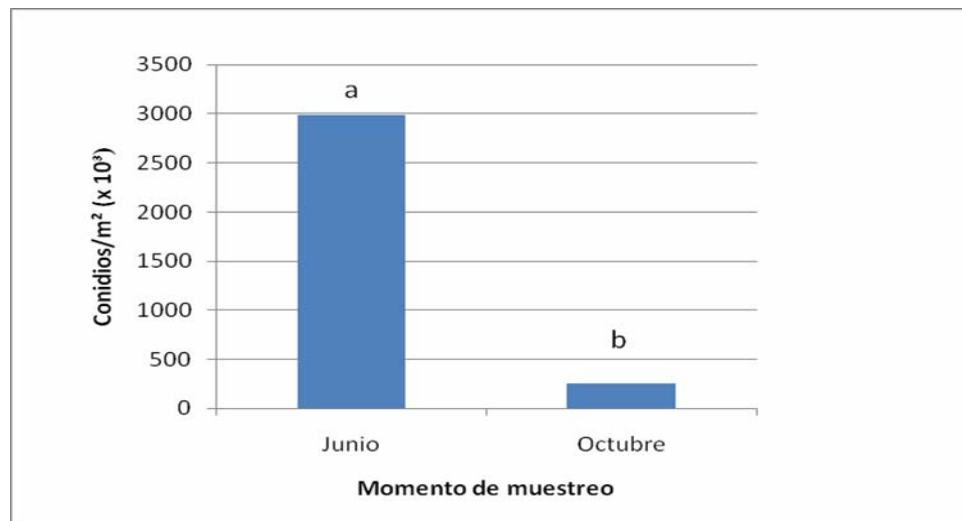


Figura 19. Densidad de inóculo de *Pyrenophora tritici-repentis* promedio de todo el experimento para los muestreos realizados en junio y octubre, respectivamente. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $p=0,05$).

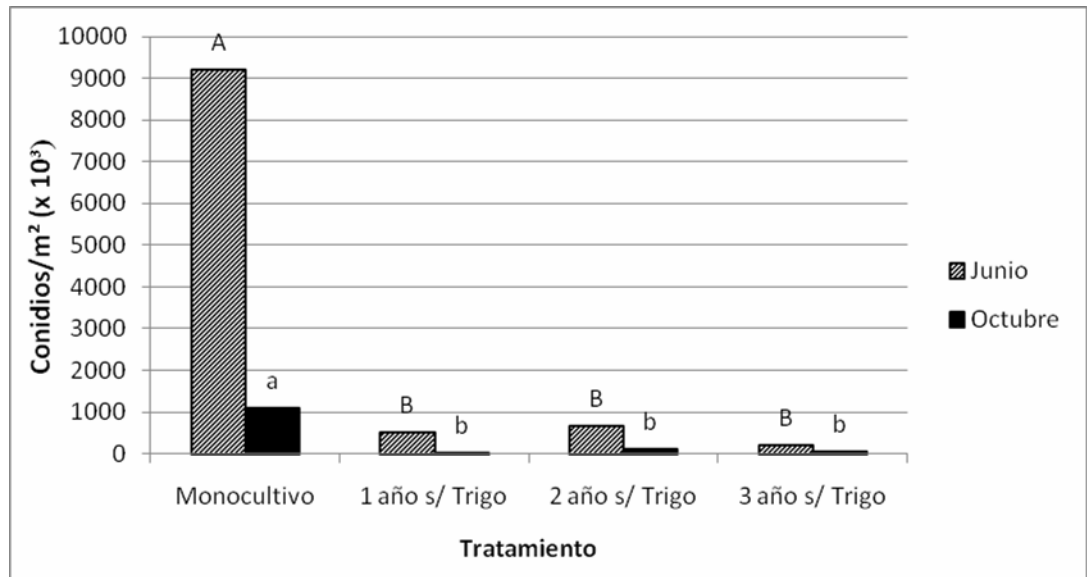


Figura 20. Densidad de inoculo de *Pyrenophora tritici-repentis* según tratamiento para cada uno de los muestreos realizados. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Tukey, $p=0,05$) para los muestreos de junio y octubre, indicados con letras mayúsculas y minúsculas, respectivamente.

La mayor densidad de inóculo fue observada en el tratamiento con monocultivo de trigo para ambas fechas de muestreo (Figura 20). Esto es debido a que cada seis meses se está sembrando un cultivo susceptible sobre rastrojo infectado, lo que asegura la permanencia del alimento para *P. tritici-repentis*, en concordancia con Utermark (1995), Bailey y Duczek (1996).

A partir de un año sin trigo, la densidad de inóculo disminuye significativamente en comparación al monocultivo, estando determinada como se dijo, anteriormente, por la descomposición del rastrojo de trigo. Al quedar el patógeno sin sustrato y carecer éste de habilidad competitiva, no puede colonizar nuevos sustratos y muere por inanición (Cook et al., 1978).

Si bien *P. tritici-repentis* presenta escasa habilidad competitiva, este patógeno sobrevive y se reproduce en el rastrojo por largos períodos de tiempo debido a la baja descomposición del rastrojo en sistemas sin laboreo. Por esta razón, la densidad de inóculo luego de tres años sin trigo fue similar a la observada en el tratamiento con un año sin trigo. Esto también fue observado en la cantidad de pseudotecios según la edad del rastrojo (Figura 26), donde hay un

alto número de pseudotecios en el rastreo de tres años, independientemente del tratamiento.

La densidad de inóculo está determinada por la cantidad de rastreo en superficie y el nivel de infección del mismo. Por lo tanto, es importante determinar estos parámetros por separado, para así analizar cuál contribuye en mayor medida a la presión de inóculo resultante.

En junio, el experimento tenía un promedio de 6630 kg de rastreo en superficie por hectárea, mientras que en octubre dicha cantidad se redujo a 3050 kg/ha. Al analizar el efecto del tratamiento sobre la cantidad de rastreo, en junio no hubo diferencias entre el monocultivo de trigo y la rotación de uno o dos años sin trigo. Sin embargo, todos ellos difirieron significativamente del tratamiento con tres años sin trigo, el cual presentó lo menores niveles de rastreo en superficie. Estas diferencias no fueron significativas en octubre, donde todos los tratamientos presentaron similares cantidades de rastreo en superficie (Figura 21).

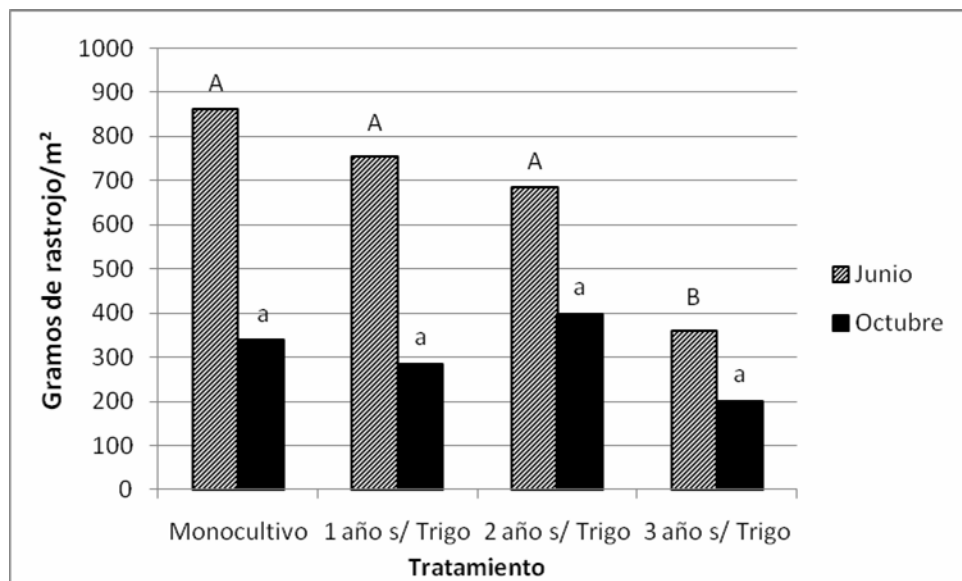


Figura 21. Cantidad de rastreo por metro cuadrado para los muestreos realizados en junio y octubre 2009, según tratamiento. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Tukey, $p=0,05$) para los muestreos de junio y octubre, indicados con letras mayúsculas y minúsculas, respectivamente.

La cantidad de rastrojo estuvo determinada por el tipo de rotación. En junio, sólo el tratamiento de tres años sin trigo difirió significativamente del resto de los tratamientos, presentando una menor cantidad de rastrojo por unidad de área. Dicho tratamiento venía de una pastura corta (*Lotus corniculatus*), dejando un menor remanente debido a una mayor tasa de descomposición como resultado de la menor relación C/N de los componentes botánicos del rastrojo. En octubre, estas diferencias desaparecieron ya que los cultivos antecesores en los tratamientos analizados fueron soja o girasol. El rastrojo de ambas especies tiene una tasa de descomposición relativamente alta, en comparación con otros cultivos como sorgo o maíz. Según datos publicados por Borges (2001), la relación C/N de la soja es de 25,5, mientras que en maíz es de 105,26. Ésta es la razón de la mayor la tasa de descomposición de la soja.

Respecto al potencial de inóculo del rastrojo, el número de conidios producidos por gramo de rastrojo en junio fue, significativamente, mayor a la producida en octubre, con promedios de 3274 y 1035 conidios/g para junio y octubre, respectivamente. El largo de rotación mostró un efecto significativo sobre este parámetro, donde el monocultivo de trigo presentó mayor producción de esporas por gramo de rastrojo que el resto de los tratamientos (Figura 22). El máximo número de esporas/g encontrado fue de 15833, siendo muy superior a los datos presentados por Stewart et al. (2001) donde el máximo encontrado fue de 2500 esporas/g.

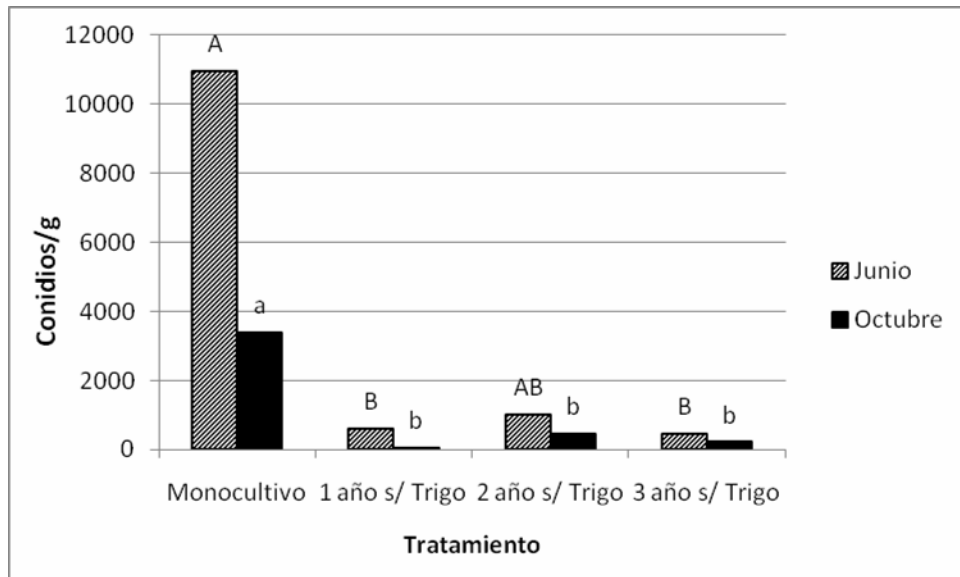


Figura 22. Potencial de inóculo (número de conidios de *Dreschlera tritici-repentis*) por gramo de rastrojo para los muestreos realizados en junio y octubre 2009, según tratamiento. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Tukey, $p=0,05$) para los muestreos de junio y octubre, indicados con letras mayúsculas y minúsculas, respectivamente.

A los efectos del manejo sanitario del cultivo, el nivel de infección de cada trigo es el determinante de la infección del rastrojo generado por dicho cultivo; y por consiguiente, de la presión de inóculo para el cultivo siguiente.

La densidad de inóculo (conidios/m²) presenta una mayor correlación con el nivel de infección del rastrojo que con la cantidad de rastrojo, verificándose esto con los valores de R² obtenidos (0,9 y 0,27 respectivamente), donde fueron considerados conjuntamente los datos recabados de los dos momentos de muestreos (Figura 23).

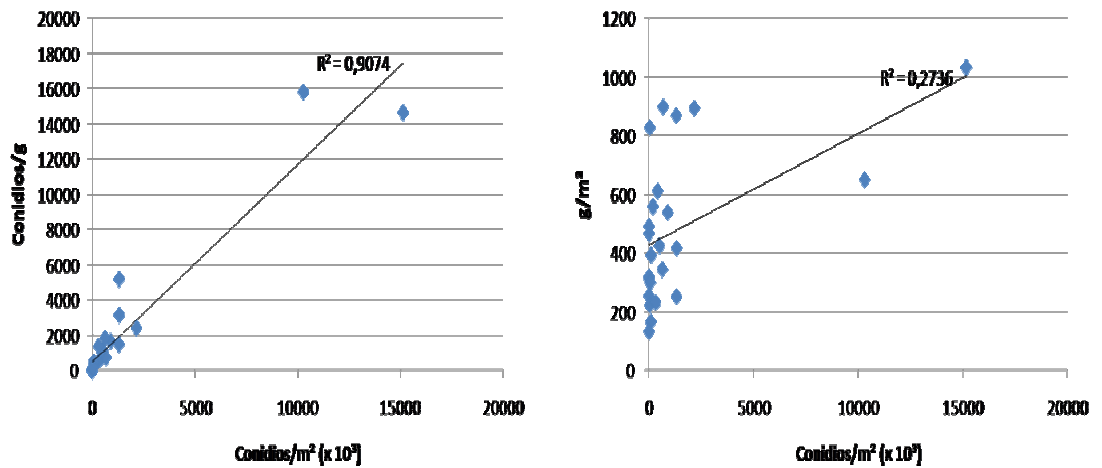


Figura 23. Correlación entre densidad de inóculo (conidios/m²) y nivel de infección (conidios/g) o con cantidad de rastrojo (g/m²) para los muestreos de junio y octubre 2009.

Fernández et al. (1998), coincidiendo con lo antes mencionado, describen que para manchas foliares la cantidad de rastrojo no es un buen indicador del desarrollo de las mismas. Existen, además, otros factores importantes que determinan la presión de inóculo como: edad, cantidad y estratificación del rastrojo, tratamientos con herbicida y condiciones ambientales durante y antes de la etapa de crecimiento del cultivo.

Considerando la densidad de inóculo a partir de los pseudotecios por metro cuadrado, en junio se observó en promedio 4906, mientras que en octubre se redujo a 766, no habiendo diferencias estadísticas entre los tratamientos ya que se dió un alto coeficiente de variación. En ambos muestreos, se redujo la densidad de inóculo a medida que se alargaba la rotación, siendo más notorio en junio. Pese a esta clara tendencia, las diferencias no fueron estadísticamente significativas (Figura 24).

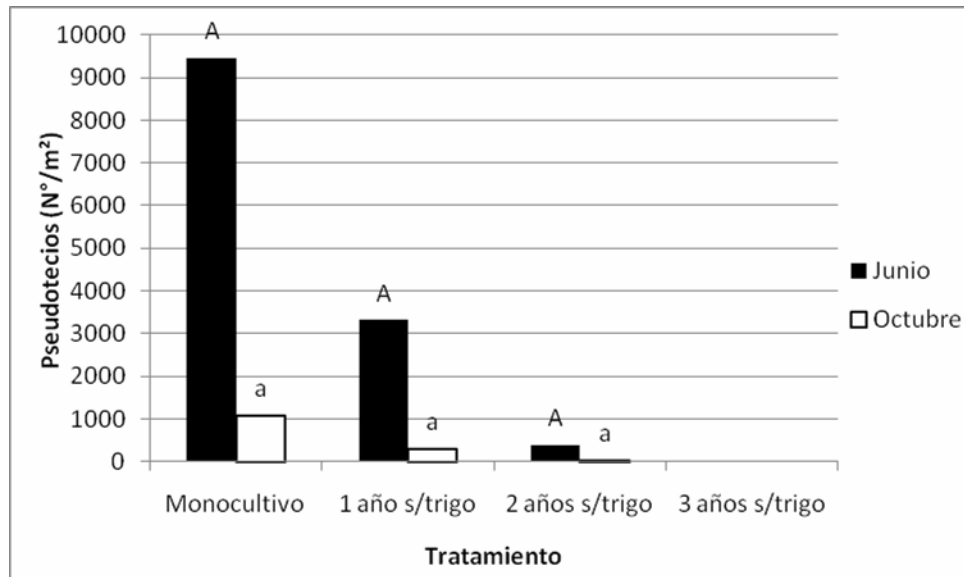


Figura 24. Número de pseudotecios de *Pyrenospora tritici-repentis* por metro cuadrado según tratamiento para los muestreos de junio y octubre 2009. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Tukey, $p=0,05$) para los muestreos de junio y octubre, indicados con letras mayúsculas y minúsculas, respectivamente.

Respecto al número de pseudotecios de *P. tritici-repentis* por gramo de rastrojo, en junio se encontraron en promedio 49 pseudotecios/g, mientras que en octubre se redujo a 31 pseudotecios/g. Sin embargo, estas diferencias entre las fechas de muestreo no fueron estadísticamente significativas. Stewart et al. (2001) menciona que el número de pseudotecios (*Pyrenospora*) varió entre 0 y 358 por gramo de rastrojo de cebada y hasta un máximo de 1358 pseudotecios/g de rastrojo de trigo.

El número de pseudotecios por gramo de rastrojo presentó una variación similar entre los dos momentos de muestreo. Aun sin detectarse diferencias estadísticas significativas debido a un alto coeficiente de variación (64,98 y 67,39 en junio y octubre respectivamente), existe una tendencia de aumento en el tratamiento de un año sin trigo. Luego, disminuye para las rotaciones con dos y tres años sin trigo (Figura 25).

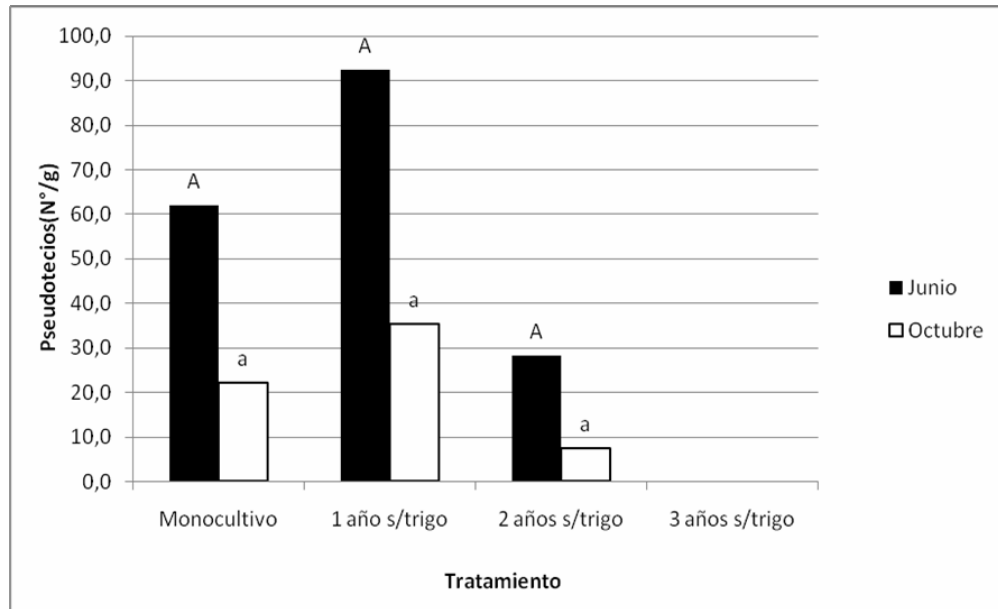


Figura 25. Número de pseudotecios de *Pyrenophora tritici-repentis* por gramo de rastrojo según tratamiento para los muestreos de junio y octubre 2009. Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Tukey, $p=0,05$) para los muestreos de junio y octubre, indicados con letras mayúsculas y minúsculas, respectivamente.

Para el número de pseudotecios por gramo de rastrojo, se observó una tendencia a que los tratamientos de monocultivo y un año sin trigo sean mayores que el resto de los tratamientos (aunque el método de cuantificación no permitió detectar diferencias estadísticamente significativas debido a que se dio un alto coeficiente de variación, 72,63 y 93,87 muestreo de junio y octubre respectivamente).

Al diferenciar el nivel de infección (pseudotecios/gramo) por edad del rastrojo, se observó que a medida que se alarga la rotación van disminuyendo la cantidad pseudotecios. En junio, a medida que el rastrojo es de mayor edad, aumenta el nivel de infección en el monocultivo así como en el tratamiento de tres años sin trigo no se encontraron pseudotecios (Figura 26).

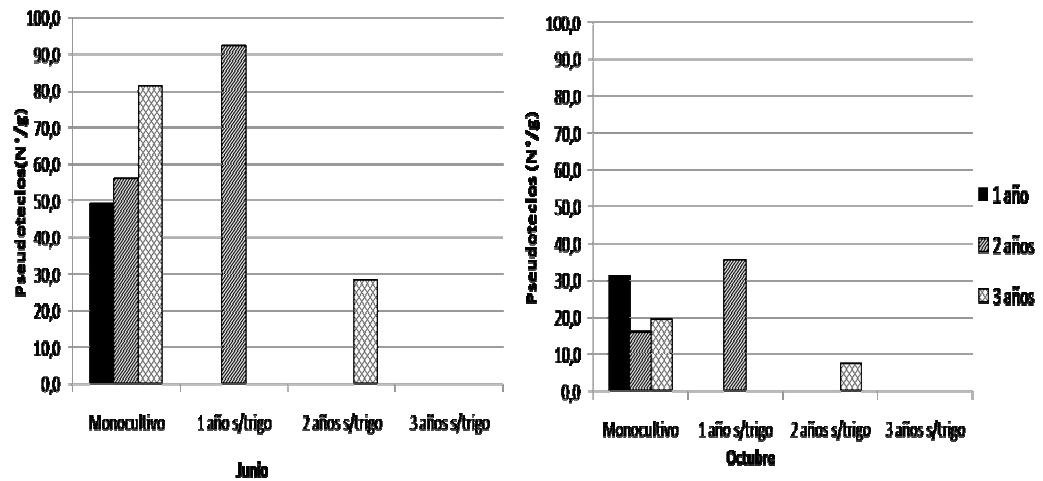


Figura 26. Número de pseudotecios de *Pyrenophora tritici-repentis* por gramo y edad del rastrojo (uno, dos y tres años) en los muestreos de junio y octubre 2009, según tratamiento.

Respecto al número de pseudotecios según la edad del rastrojo por gramo, es importante destacar que en el tratamiento bajo monocultivo, en junio, la cantidad de pseudotecios en el rastrojo de tres años fue mayor que el rastrojo de los otros años (Figura 26). Esto podría explicarse por el mayor tiempo que tuvo el patógeno para generar este tipo de estructuras en este rastrojo. Sin embargo, no implica que el rastrojo más viejo tenga mayor contribución a la densidad de inóculo, ya que la importancia relativa de éste en el total del rastrojo presente es muy pequeña. En este estudio, no se cuantificó la cantidad total de rastrojo según edad, lo cual limita la capacidad de análisis.

En cuanto a la composición botánica de los diferentes tratamientos para el muestreo de junio, se visualizó como era de esperar una paulatina disminución del componente invierno a medida que el tiempo sin sembrar trigo es mayor, aumentando proporcionalmente el componente gramínea (que no incluye cultivo de invierno) y picadillo (Figura 27 y 28).

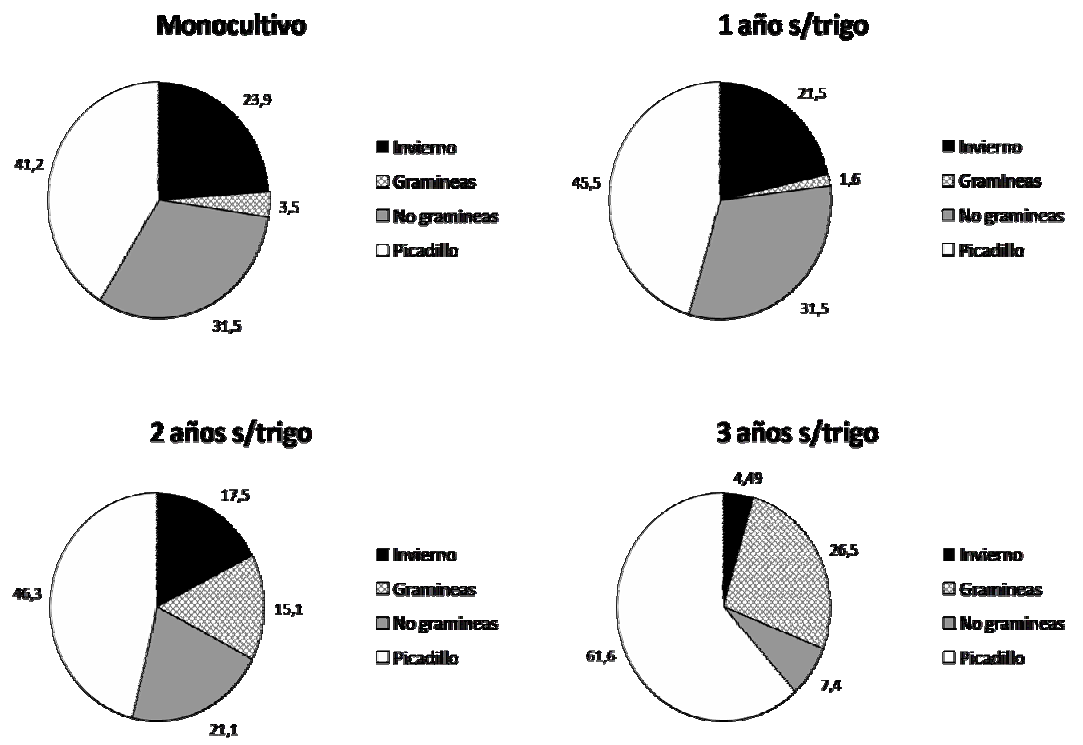


Figura 27. Composición botánica del rastrojo por tratamiento en el muestreo realizado en junio 2009.

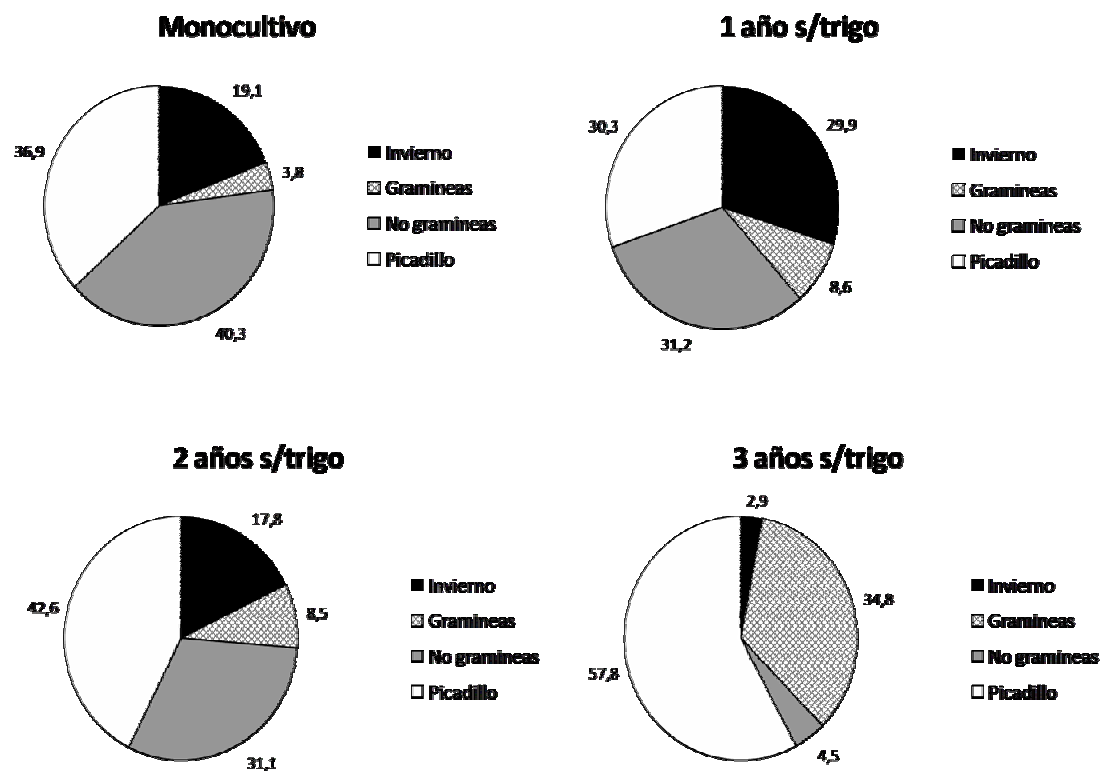


Figura 28. Composición botánica del rastrojo por tratamiento en el muestreo realizado en octubre 2009.

Para el muestreo de junio (Figura 27) se puede decir que el tratamiento bajo monocultivo, un año sin trigo y dos años sin trigo contienen mayor proporción de rastrojo de invierno ya que cada seis meses, aproximadamente, se está introduciendo trigo, cebada o avena en la rotación. Este componente se reduce, notoriamente, para el tratamiento de tres años sin trigo ya que pasa más tiempo sin la incorporación de una gramínea de invierno y su rastrojo disminuye por descomposición.

Si consideramos la densidad de inóculo y la composición botánica por tratamiento, hay similar proporción del estrato invierno en el monocultivo y un año sin trigo pero la presión de inóculo es significativamente diferente (Figuras 20 y 27). Por lo que existe un efecto del tipo de rastrojo (trigo o cebada), donde *P. tritici repentis* sobrevive en el cultivo que colonizó en su fase parasítica (trigo).

Por otra parte, es importante resaltar que si bien el componente invierno baja notoriamente en los tratamientos de dos o tres años s/trigo, la densidad de inóculo de *P. tritici-repentis* se mantiene relativamente constante a partir de un año s/trigo. Esto se explica porque este patógeno es altamente específico y no sobrevive ni en el rastrojo de cebada ni en el de avena, componentes estos que toman mayor importancia relativa en el rastrojo remanente de dichos tratamientos.

El componente gramínea, en la rotación con tres años sin trigo, tiene un importante componente de malezas gramíneas durante la fase de pastura corta (*Lotus corniculatus*), que debido a la especificidad de *P. tritici-repentis* no necesariamente aportan sustrato para la sobrevivencia de este patógeno.

4.4 RELACIÓN ENTRE DENSIDAD DE INÓCULO DE JUNIO Y OCTUBRE CON LA ENFERMEDAD OBSERVADA

La densidad de inóculo y cantidad de enfermedad presentaron un patrón similar entre los tratamientos, teniendo una mayor relación con el muestreo de junio en comparación con el de octubre. A partir de un invierno sin trigo, la densidad de inóculo y la cantidad de enfermedad no difieren significativamente entre los tratamientos (Figura 29).

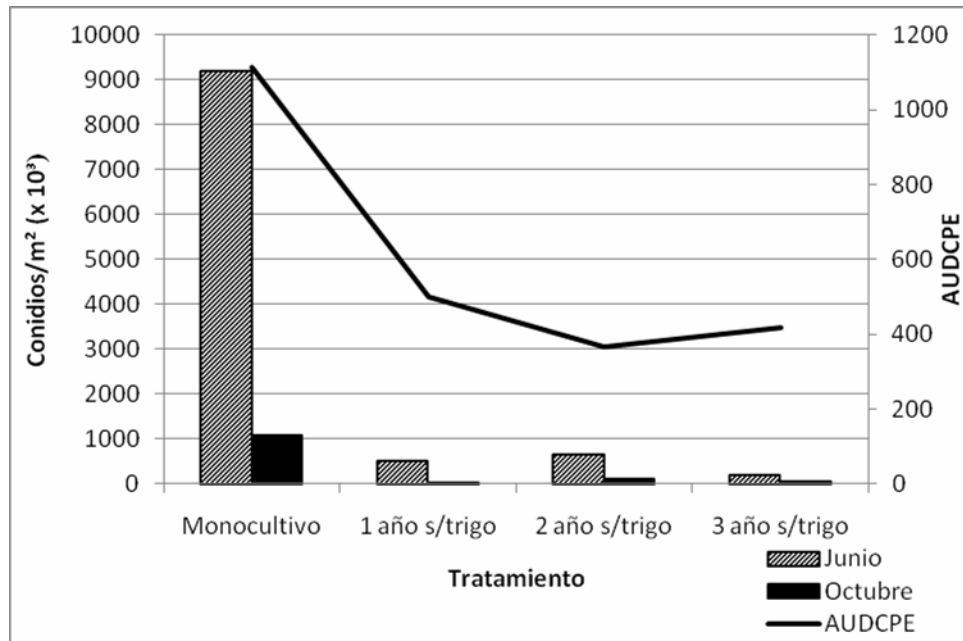


Figura 29. Relación entre densidad de inóculo, a la siembra (junio) y durante el antesis (octubre), con la cantidad de enfermedad según tratamiento.

Existe una relación entre la densidad de inóculo en junio y la cantidad de enfermedad resultante (Figura 29), ya que en el tratamiento de monocultivo donde se encontró una alta densidad de inóculo resultó en una alta cantidad de enfermedad. En cambio, a partir de un año sin trigo la densidad disminuyó significativamente y se mantuvo relativamente similar en el resto de los tratamientos al igual que AUDCPE.

4.5 COMPONENTES DE RENDIMIENTO DE GRANO

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos respecto a los componentes del rendimiento, siendo mayor para el tratamiento de tres años sin trigo (Cuadro 14). Los menores rendimientos se observan en el monocultivo y dos años sin trigo debido a que concretaron bajo número de espigas por metro cuadrado y un menor peso de grano. Los tratamientos evaluados no tuvieron efecto significativo sobre el peso hectolítrico.

Cuadro 14. Componentes del rendimiento de grano de trigo año 2009.

	No. Plantas/m (Implantación)*	No. espigas/m	Granos/espiga	Granos/m² (miles)
Monocultivo	38a	47 b	28 a	7,6 a
1 año s/trigo	38a	61 a	25 a	8,9 a
2 años /trigo	40a	48 b	22 a	6,2 a
3 años /trigo	40a	58 ab	26 a	8,9 a

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (LSD Fisher, $p=0,1$). *(Tukey, , $p=0,05$).

Cuadro 15. Parámetros de calidad física del grano y rendimiento de grano.

	Peso grano (mg)	Peso hectolitrico (gr)	Rend. (kg/ha)
Monocultivo	34.7 b	76 a	2539 bc
1 año s/trigo	35.6 ab	76 a	3058 ab
2 años /trigo	35.5 ab	76 a	2125 c
3 años /trigo	36.8 a	75 a	3422 a

Letras distintas indican diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (MDS Fisher, $p=0,1$).

El menor rendimiento observado en el tratamiento con monocultivo de trigo pudo estar explicado por un inicio más temprano y una mayor cantidad de enfermedad, coincidiendo con Pérez (1998) en cuanto a su efecto final en el menor número y peso de granos. En este caso, se observó un menor número de espigas por m² y un menor peso de granos. Ambos parámetros pudieron estar asociados a los niveles de mancha amarilla observados en el cultivo. Los altos niveles de infección observados durante el macollaje pudieron haber afectado la sincronización de los macollos y por consiguiente, la fertilidad de los mismos. Mientras que los niveles de enfermedad observados durante el ciclo del cultivo y la reducción en la fuente, como causa de los niveles de severidad observados, pudieron haber reducido el peso de los granos.

En cuanto al rendimiento del tratamiento de dos años sin trigo, el resultado mostró un comportamiento errático donde pudo haber un efecto

negativo por la acumulación de rastrojos ya que la rotación incluye los cultivos de sorgo y maíz. Si bien la implantación no se vio afectada (similar número de plantas por metro lineal que el resto de los tratamientos), durante los meses de invierno se observó un mayor daño por heladas en este tratamiento debido a la estructura del rastrojo de sorgo y maíz en superficie. Esto pudo haber afectado el número de espigas por m², independientemente, del nivel sanitario de dicho tratamiento.

Prestes et al. (2002) concluyeron que rotaciones con dos inviernos sin trigo mostraron rendimiento medio más elevado que un invierno sin trigo y monocultivo de dicho cereal. Santos et al., citados por Prestes et al. (2002), mencionan que en sistemas sin laboreo la rotación con uno, dos o tres inviernos sin trigo rindieron más que monocultivo de trigo. A su vez, concluyeron que un invierno sin trigo fue más productivo que dos inviernos sin trigo, debido a los efectos negativos de sustancias tóxicas liberadas por la descomposición del rastrojo de sorgo y maíz o debido a falta de nitrógeno en el sistema.

Es importante destacar que el tratamiento de tres años sin trigo fue el que rindió más (Cuadro 14), ya que la enfermedad tuvo un inicio más tardío así como bajos niveles finales, no afectando de forma significativa los componentes del rendimiento. A su vez, pudo haber un efecto del tipo de rotación el cual incluye a una fase pastoril, dándole mejor calidad física y química al suelo (Siri – Prieto y Ernst, 2009).

5. CONCLUSIONES

El presente estudio permitió cuantificar el impacto del largo de la rotación sobre la sanidad del cultivo de trigo. Para las condiciones del experimento, dejar un año sin sembrar trigo fue suficiente para reducir significativamente el efecto de la mancha amarilla sobre el cultivo. Rotaciones más largas, no presentaron ventajas significativas respecto a la rotación de un año sin trigo.

Para el desarrollo de la mancha amarilla, las condiciones climáticas fueron fundamentales, ya que en todos los tratamientos las epifitias aumentaron considerablemente luego de que ocurrieron precipitaciones, altas temperaturas y humedad relativa. Para el monocultivo, en particular, las condiciones climáticas no fueron tan relevantes ya que la epifitia comenzó antes, llegando en macollaje a los niveles críticos tomados arbitrariamente (5%). Se observó además que con buenas condiciones, el desarrollo de éstas adquiere más relevancia. Con esto surge la interrogante: con condiciones climáticas favorables más tempranas para el desarrollo de enfermedades ¿cuál hubiese sido la cantidad, el nivel de enfermedad y como hubiera afectado el rendimiento en el monocultivo?

La mayor presión de inóculo de *P. tritici-repentis* encontrada en el tratamiento con monocultivo de trigo resultó en un inicio más temprano de la epidemia, con mayores tasas de desarrollo y niveles máximo de enfermedad. Este desarrollo de la epidemia afectó significativamente el área fotosintéticamente activa desde mediados de macollaje en adelante, incidiendo principalmente en dos componentes del rendimiento: i) número de espigas/m² y ii) peso del grano.

La magnitud de la epidemia tuvo una mayor relación con el inóculo a la siembra que con la densidad de inóculo a inicios de floración. A su vez, la presión de inóculo estuvo, principalmente, determinada por el nivel de infección del rastrojo más que por el volumen del mismo, si se considera volumen total. Esto es importante a la hora de planificar la siembra del trigo siguiente, ya que considerando el nivel de infección que tuvo el trigo anterior o cuantificando el nivel de inóculo a la siembra, se puede tener una aproximación de la presión de inóculo presente, con su correspondiente evaluación del riesgo sanitario para el trigo siguiente.

En el tratamiento de tres años sin trigo, el rastrojo del mismo es muy bajo en comparación con un año y dos años sin trigo. Al no existir diferencias significativas en cuanto a la presión de inóculo entre estos tratamientos de 1, 2 y 3 años sin trigo, podemos afirmar que no es necesario llegar a inóculo cero sino a niveles por debajo de los cuales el rastrojo deja de ser la fuerza conductora de la epidemia. Ya que como mencionamos, el tratamiento de 3 años sin trigo prácticamente no tiene rastrojo de trigo y la densidad de inóculo no difiere significativamente del de un año sin trigo, el cual tiene una mayor proporción de rastrojo de dicho cultivo.

Respecto a la cuantificación de pseudotecios por gramo de rastrojo de trigo, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos. Es probable que la diferencia en la densidad de inóculo esté dada por la cantidad de rastrojo de trigo y no por su grado de infección.

Las condiciones climáticas iniciales del experimento (frías) favorecieron el desarrollo de los cultivos ya que permitieron una buena sincronización de los macollos y la concreción del potencial. Esto se reflejó en los altos rendimientos de grano obtenidos en los tratamientos de un año y tres años sin trigo. Se evidencia la importancia del largo de rotación, ya que al compararlos con el monocultivo, este último obtuvo un rendimiento significativamente menor debido a la cantidad de enfermedad.

Estos resultados permiten concluir que la rotación de cultivos es la herramienta recomendable para un manejo sustentable del cultivo de trigo, en sistemas sin laboreo. Al menos un año sin trigo, permitió disminuir la importancia del rastrojo como inóculo primario bajo las condiciones del presente trabajo. Sin embargo, a lo largo del ciclo del cultivo se observaron niveles relativamente altos de enfermedad aún en situaciones de rotaciones largas, por lo que la combinación de la rotación con otras medidas de manejo permitiría minimizar el impacto de las manchas foliares sobre el resultado económico del cultivo.

6. RESUMEN

La mancha amarilla (causada por *Pyrenophora tritici-repentis*) es la principal enfermedad del trigo en sistemas sin laboreo, en Uruguay. El presente estudio tuvo por objetivo determinar el largo de rotación mínimo para reducir el impacto de *P. tritici-repentis* sobre el cultivo de trigo. Esta información es fundamental para el país, debido a que hay escasos cultivos económicamente rentables para alternar en la estación invernal. El experimento se llevó a cabo en la E.E.M.A.C., Facultad de Agronomía, durante la zafra 2009. La hipótesis a probar fue que el largo de rotación afecta significativamente la importancia del rastrojo como fuente de inóculo primario, y por consiguiente la sanidad del cultivo a instalar. Para evaluar dicha hipótesis, se compararon cuatro secuencias de distinto largo de rotación. Así, la secuencia 1 correspondió al monocultivo de trigo, mientras las secuencias 2, 3 y 4 rotaron con uno, dos y tres años sin trigo, respectivamente. Para cuantificar la densidad de inóculo de *P. tritici-repentis*, se determinó el peso del rastrojo presente y el potencial de inóculo de dicho rastrojo, en dos momentos del ciclo del cultivo: a la siembra (Junio) y a la floración (Octubre). A su vez, se cuantificó la evolución de la mancha amarilla a lo largo del ciclo y el rendimiento del cultivo. El efecto del largo de rotación fue significativo sobre la densidad de inóculo y la cantidad de enfermedad resultante. Dejar un invierno sin sembrar trigo fue suficiente para disminuir la densidad de inóculo de *P. tritici-repentis*, y los niveles de enfermedad resultante. En el presente estudio, la densidad de inóculo (conidios/m²) estuvo determinada básicamente por el nivel de infección del rastrojo y no así por la cantidad del mismo. Las condiciones ambientales para el desarrollo de la enfermedad en el monocultivo de trigo no fueron determinantes. En las primeras etapas del cultivo, dichas condiciones no fueron óptimas para el desarrollo de epifitias. A pesar de esto, los niveles de enfermedad encontrados en el tratamiento con monocultivo fueron elevados, llegando a niveles críticos en etapas tempranas del cultivo. Teniendo en cuenta el efecto final de los tratamientos con respecto al rendimiento de grano, existieron diferencias significativas donde el monocultivo de trigo resultó con los menores rendimientos. Estos resultados confirman la hipótesis de que el largo de rotación afecta significativamente la densidad de inóculo, y la sanidad del cultivo a instalar. Por otro lado, estos resultados indican que no es necesario llegar a inóculo cero en el rastrojo, sino a niveles por debajo de los cuales el rastrojo deja de ser la fuerza conductora de la epidemia. En este estudio, un año sin la

incorporación de rastrojo en la secuencia fue suficiente para que el rastrojo perdiera importancia relativa como fuente de inóculo primario.

Palabras clave: Trigo; Mancha amarilla; Presión de inóculo; Rotación de cultivos.

7. SUMMARY

Tan spot (caused by *Pyrenophora tritici-repentis*) is the primary disease of wheat in non-till systems in Uruguay. The aim of this study was to determine the minimal length of rotation to reduce the impact of *P. tritici-repentis* on the wheat crop. This information is needed, due to the fact that there are limited crop species to alternate in the winter season. The experiment was carried out at the E.E.M.A.C., University of Agronomy, over the winter season 2009. The hypothesis was that the length of rotation affects the importance of the residue as a source of primary inoculum, and therefore affects the health of the crop to be installed. To test this hypothesis we compared four sequences with different rotation length. The sequence 1 corresponded to the monoculture of wheat, while sequences 2, 3 and 4 included one, two and three years without wheat, respectively. To quantify the pressure of inoculum of *P. tritici-repentis*, we determined the weight of the present residue and the potential of inoculum at two different dates: at seedling (June) and flowering stage (October). The evolution of tan spot over the season, and crop yield were also determined. The length of the rotation had a significant effect on the inoculum pressure and on the disease level. One winter without wheat was enough to reduce the pressure of inoculum of *P. tritici-repentis*, and the levels of the disease. In this case, the inoculum pressure (conidios/m²) was determined primarily by the level of infection of the residue, compared to the quantity of residue in itself. Despite the environmental conditions at the beginning of the experiment, which were not favorable for the disease, high levels of tan spot infection were observed in the monoculture treatment, reaching critical levels in early stages of the crop. These results confirm the hypothesis that the length of the crop rotation significantly affects the inoculum pressure, and this crop health. On the other hand, these results indicate that a complete eliminate of the residue inoculums might not be necessary. In this study, one year without the incorporation of wheat into the crop sequence was enough to reduce the relative importance of the residue as a source of primary inoculum.

Keywords: Wheat; Tan spot; Pressure of inoculum; Crop rotation.

8. BIBLIOGRAFIA

1. ANNONE, J.G. 2003. Las enfermedades foliares y de la espiga de trigo de más frecuente ocurrencia; importancia relativa, patrones epidémicos y estrategias para su manejo. (en línea). Pergamino, INTA. s.p. Consultado 18 mar. 2010. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/agric/cereales/trigo/emp/anonne.htm>
2. BAETHGEN, W. 1992. Fertilización nitrogenada de cebada cervecera en el litoral oeste del Uruguay. Montevideo, INIA. 59 p. (Serie Técnica no. 24).
3. BAILEY, K.L.; DUCZEK, L.J. 1996. Managing cereal disease under reduce tillage. Canadian Journal of Plant Pathology. 18: 159-167.
4. BOKUS, W.; WAND CLAASSEN, M.M. 1992. Effects of crop rotation and residue manangement practices on severity of tan spot of winter wheat. Plant Disease. 76: 633-636.
5. _____.; SHROYER, J. P. 1998. The impact of reduced tillage on soilborne plant pathogens. Annual Review of Phytopathology. 36: 485-500.
6. BORGES, R. 2001. Descomposición de rastrojos de trigo soja y maíz sobre suelo en secuencia de cultivos sembrados sin laboreo con y sin rotación de pasturas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. pp. 1-17.
7. CARMONA, M.; REIS, E. M. 1998. Las enfermedades y su manejo en siembra directa. CREA Siembra Directa. Cuaderno de Actualización Técnica. no. 59: 68-81.
8. _____. 2003a. Cómo controlar enfermedades en cereales de invierno. (en línea). Buenos Aires, UBA. Facultad de Agronomía. s.p. Consultado 2 feb. 2010. Disponible en <http://agro.faua.info/node/153>

9. _____. 2003b. Manejo integrado de la mancha amarilla del trigo (*Drechslera tritici-repentis*); información técnica de trigo – campaña 2003. (en línea). Rafaela, INTA. 6 p. Consultado 2 feb. 2010. Disponible en http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/misc99/misc99_8.pdf
10. _____. 2008. El manejo integrado de las enfermedades del cultivo de trigo (en línea). Rafaela, INTA. 46 p. (Publicación miscelánea no. 109). Consultado 1º feb. 2010. Disponible en http://www.inta.gov.ar/Rafaela/info/documentos/misc109/trigo2008_044.pdf
11. COOK, R. J.; BOOSALIS, M. G.; DOUPNIK, B. 1978. Influence of crop residue on plant disease. In: Oschwald, W.R. ed. Crop residue management systems. Madison, Wisconsin, ASA/CSSA/SSSA. pp. 147- 163.
12. DIAZ, M. 1996a. Control integrado de enfermedades en trigo. In: Díaz, M. ed . Manejo de enfermedades en cereales de invierno y pasturas. Montevideo, INIA. pp. 25-41 (Serie Técnica no. 74).
13. _____. 1996b. Mancha parda del trigo causada por *Pyrenophora tritici repentis* (died.) Drechs., Estado perfecto de *Drechslera tritici repentis* (died.) Shoem. In: Díaz, M. ed. Manejo de enfermedades en cereales de invierno y pasturas. Montevideo, INIA. pp. 63 – 86 (Serie Técnica no. 74)
14. _____.; GARCIA, A.; VAZQUEZ, D.; GERMAN, S.; PEREYRA, S. 2006. Aspectos sanitarios y su incidencia en la calidad y el rendimiento. In: Jornada de Cultivos de Invierno (2006, Colonia, Uruguay). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 22-29 (Actividades de Difusión no. 444).
15. _____.; PEREYRA, S.; GERMAN, S. 2008. Manejo sanitario de trigo y cebada. In: Jornada de Cultivos de Invierno (2008, Colonia, Uruguay). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 9-26 (Actividades de Difusión no. 531).

16. DIAZ, R.; ABADIE, T. 1997. Rendimiento potencial y brechas tecnológicas de trigo en el Uruguay y el cono sur. In: Kohli, M. M.; Martino, D. L. eds. Explorando altos rendimientos de trigo. La Estanzuela, Colonia, CIMMYT. pp. 1 – 20.
17. DIAZ-ROSELLO, R.M. 1992. Evolución de la materia orgánica en rotaciones de cultivos con pasturas. Revista INIA. 1: 103-110
18. ERNST, O.; SIRI-PRIETO, G. 2000. Impact of crop-pasture rotation with conventional tillage and no till systems on soil quality and crop yield in Uruguay. In: International Conference of the International Soil Tillage Research and Organization (15th., 2000, Forth Worth, TX, USA). Proceedings. Temple, Texas Agricultural Experiment Station. s.p.
19. _____.; BENTANCUR, O.; BORGES, R. 2002. Descomposición de rastrojo de cultivos en siembra sin laboreo: trigo, maíz, soja y trigo después de maíz o soja. Agrociencia. 6 (1): 20-26.
20. FERNANDEZ, M.R.; MC CONKEY, B.G.; ZENTNER, R.P. 1998. Tillage and summerfallow effects on leaf spot disease of wheat in the semiarid Canadian Prairies. Canadian Journal of Plant Pathology. no. 20: 376-379
21. FORMENTO, A, N. 2007. Momentos de aplicación de fungicidas para achicar las pérdidas del rendimiento. (en línea). Revista El Quintal. no. 13: 8- 9. Consultado 1 feb. 2010. Disponible en <http://www.syngenta.com.ar/viewimage.aspx?Id=474&tipo=NO&tipoFile=A>
22. GERMAN, S.; LUIZZI, D. 1982. Mejoramiento de trigo en el Uruguay; III. Las royas, su incidencia en rendimiento y calidad de grano. Investigaciones Agronómicas (Montevideo). 3(1): 35-38.
23. HOFFMAN, E.; VIEGA, L.; CADENAZZI, M.; BENITEZ, A.; GESTIDO, V.; MESA, P.; FERNÁNDEZ, R.; BAETEN, A.; GLISON, N. 2009. Bases morfo – fisiológicas que justifican el manejo diferencial de cultivares de trigo y cebada en Uruguay. In: Simposio Nacional de Agricultura de

Secano (1º, 2009, Paysandú, Uruguay). Memorias. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 49-74.

24. INFOSTAT. 2009. Programa INFOSTAT; versión 2009. (en línea). Cordoba, Grupo InfoStat/ Universidad Nacional de Cordoba. FCA. s.p. Consultado 4 dic. 2009. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
25. KOHLI, M. M. 1996. Control integrado de enfermedades en trigo. *In*: Díaz, M. Manejo de enfermedades en cereales de invierno y pasturas. Montevideo, INIA. pp. 25-41 (Serie Técnica no. 74).
26. KRUPINSKY, J.M; BAILEY, K.L.; MCMULLEN, M.P.; GOSSSEN, B.D.; TURKINGTON, T.K. 2002. Managing plant disease risk in diversified cropping systems. *Agronomy Journal*. 94: 198-209
27. _____; TANAKA, D.L.; MERRILL, S.T.; LIEBIG, M.A.; LARES, M.T.; HANSON, J.D. 2007. Crop sequence effects on leaf spot diseases of no-till spring wheat. *Agronomy Journal*. 99: 912-920
28. MARTINO, D. 1997. Siembra directa en los sistemas agrícolas-ganaderos del litoral. Montevideo, INIA. 28 p. (Serie Técnica no. 82).
29. MORAES PRESTES, A.; PREREIRA DOS SANTOS, H.; REIS, M. E. 2002. Práticas culturais e incidência de manchas foliares em trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* (Brasília). 37 (6): 791-797.
30. PARR, J. F.; PAPENDICK, R. I. 1978. Factors affecting the decomposition of crop residues by microorganism. *In*: Oschwald, W.R. ed. Crop residue management systems. Madison, Wisconsin, ASSA/CSSA/SSSA. pp. 101-129.
31. PEREYRA, S 1996. Enfermedades de cebada en Uruguay; reconocimiento, epidemiología y estrategias de manejo. *In*: Díaz, M. Manejo de enfermedades en cereales de invierno y pasturas. Montevideo, INIA. pp. 105-123 (Serie Técnica no.74).

32. _____, STEWART, S. 2004. Manejo de enfermedades en cebada. In: Jornada de Cultivos de Invierno (2004, Colonia, Uruguay). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 2–11 (Actividades de Difusión no. 357).

33. _____, DIAZ DE ACKERMAN, M.; STEWART, S. 2005. Manual de identificación de enfermedades en cereales de invierno. 2ª.ed. Montevideo, INIA. pp. 12- 34 (Boletín de Divulgación no. 61)

34. _____; DILL- MACKY, R. 2008. Colonization of the residues of diverse plant species by *Gibberella zeae* and their contribution to Fusarium head blight inoculum. *Plant Disease*. 92: 800-807.

35. _____; DIAZ, M. 2009. Enfermedades transmitidas por rastrojo en trigo y cebada. In: Jornada de Cultivos de Invierno (2009, Mercedes, Uruguay). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 25 – 34 (Actividades de Difusión no. 566).

36. PEREZ, C. 1998. Importancia del rastrojo en la sanidad de los cultivos de invierno. *Cangüé*. no. 13: 30.

37. _____. 2004. Manejo sanitario de cereales de invierno. Algunas consideraciones epidemiológicas frente a la próxima zafra. *Cangüé*. no. 25: 34-39.

38. _____. 2009a. Introducción a la epidemiología. In: Pérez, C. ed. Manejo de enfermedades en cereales de invierno. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 1-66

39. _____; CARAMESO, L.; FROS, D.; CADENAZZI, M.; ERNST, O. 2009b. Manejo sanitario en sistemas sin laboreo; agrónomos o nutricionistas? In: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1º., 2009, Paysandú, Uruguay). Memorias. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 141-160.

40. PEREZ FERNANDEZ, J. 1998. Enfermedades del cultivo de trigo en la provincia de la Pampa; actualización técnica de cultivos de invierno. (en línea). Anguil, INTA. cap. 7, pp. 65-85 (Boletín no. 58). Consultado 1

feb. 2010. Disponible en
<http://www.inta.gov.ar/Anguil/info/boletines/bol58/cap7.pdf>

41. PRESTES, A; REIS, E; SANTOS H. 2002. Práticas culturais e incidencia de manchas foliares en trigo. Pesquisa Agropecuária Brasileira (Brasília). 37 (6): 791-797
42. REES, R. G.; PLATZ, G. J. 1979. The occurrence and control of yellow spot of wheat in north-eastern Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry. 19: 369
43. _____. 1982. Yellow spot, an important problem in the northeastern wheat areas of Australia. In: Hosford, R.M. Jr. ed. Tan spot wheat and related disease workshop. Fargo, North Dakota, Agricultural Experimental Station. pp. 68-70.
44. REIS, E. M. 1988. Doenças do trigo; I. Pudridao comun de raízes. Helminthosporiose. Sao Paulo, Companhia Nacional de Defensivos Agrícolas. 20 p.
45. SIRI-PRIETO, G.; ERNST, O. 2009. Cambios en el contenido de carbono y nitrógeno del suelo: ¿Hacia dónde va el sistema? In: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1º., 2009, Paysandú, Uruguay). Memorias. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 111-123.
46. STEWART, S.; PEREYRA, S.; DIAZ, M. 1997. Presencia de los teleomorfos de *Drechslera tritici-repentis* y *D. teres* en rastrojo de trigo y cebada en Uruguay. In: Congreso Latinoamericano de Fitopatología (9º, 1997, Montevideo, Uruguay). Memorias. Montevideo, Zeneca. s.p.
47. _____. _____. _____. 2001. Manchas foliares de trigo y cebada bajo siembra directa: conceptos y estrategias de control (en línea). La Estanzuela, Colonia, Uruguay, INIA. 30 p. (Boletín Siembra Directa. Documento on line no. 036.). Consultado 1 feb. 2010. Disponible en <http://www.inia.org.uy/online/site/publicacion-ver.php?id=698>

48. _____. _____. _____. 2004. Sustentabilidad de la intensificación agrícola en el Uruguay. El efecto de la intensificación agrícola en las enfermedades de los cultivos. In: Jornada de Cultivos de Invierno (2004, Mercedes, Uruguay). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 19–23 (Actividades de Difusión no. 365).
49. STURZ, A. V.; BERNIER, C.C. 1989. Influence of crop rotation on winter wheat growth and yield in relation to the dynamics of pathogenic crown and root rot fungal complexes. *Canadian Journal of Plant Pathology*, Guelph. 11 (1): 114-121.
50. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERIA, AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCION DE INVESTIGACIONES ESTADISTICA AGROPECUARIA. 2008. Encuesta agrícola, primavera 2008. (en línea). Montevideo. Consultado 22 feb. 2010. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy>
51. _____. _____. _____. 2009a. Encuesta agrícola, primavera 2009. (en línea). Montevideo. Consultado 15 mar. 2010. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy>
52. _____. _____. _____. 2009b. Series históricas de datos; 1960-2009. (en línea). Montevideo. Consultado 15 mar. 2010. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,27,O,S,0,MNU;E;2;16;10;6;MNU;>
53. UTERMARK, M. 1995. Sobrevivencia de *Drechslera teres* en el rastrojo de cebada. In: Reunión Nacional de Investigadores de Cebada (6^{a.}, 1995, Montevideo, Uruguay).Memorias. Montevideo, INIA. pp. 52-53.
54. ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. 1974. A decimal for de growth stage of cereals. *Weed Research*. 14: 415-421.

9. ANEXOS

9.1 ANEXO 1

PRESIÓN DE INÓCULO, GRAMOS DE RASTROJO POR m² Y CONIDIOS POR GRAMO DE RASTROJO

Muestreo junio

Bloque	Tratamiento	Conidios/g	g/m ²	Conidios/m ²
1	1	14667	1033	15155556
1	2	22833	659	15047167
1	3	1500	869	1304000
1	4	1333	816	1088000
1	5	667	612	408000
1	6	3500	1268	4438000
1	7	500	465	232667
1	8	1167	425	496222
1	9	4333	332	1438667
1	10	1667	1001	1668889
2	1	2417	895	2162111
2	2	5917	815	4820111
2	3	42	828	34500
2	4	417	1207	502778
2	5	750	899	674000
2	6	583	2023	1179889
2	7	1292	492	635500
2	8	250	393	98333
2	9	1292	545	704389
2	10	1333	568	757333
3	1	15833	651	10302222
3	2	7000	511	3574667
3	3	333	559	186222
3	4	667	789	526222
3	5	1667	539	897778
3	6	1500	1344	2016000
3	7	833	373	311111
3	8	0	255	0
3	9	1833	285	523111
3	10	2000	840	1680000

Muestreo octubre

Bloque	Tratamiento	Esp/g	g/m ²	Esp/m ²
1	1	1833	345	633111
1	2	3500	352	1232000
1	3	0	313	0
1	4	167	497	82889
1	5	0	468	0
1	6	167	909	151556
1	7	0	236	0
1	8	500	167	83333
1	9	500	72	36000
1	10	1833	320	586667
2	1	5208	252	1312500
2	2	0	420	0
2	3	0	320	0
2	4	0	391	0
2	5	1375	232	319000
2	6	83	1027	85556
2	7	208	343	71389
2	8	0	133	0
2	9	1125	137	154500
2	10	0	360	0
3	1	3167	417	1321556
3	2	3000	365	1096000
3	3	167	223	37111
3	4	0	493	0
3	5	0	491	0
3	6	0	853	0
3	7	0	101	0
3	8	167	300	50000
3	9	0	164	0
3	10	500	221	110667

9.2 ANEXO 2

MAPA GENERAL DE SIEMBRAS DE CULTIVOS DE INVIERNO Y VERANO DESDE 1999 HASTA EL 2008 SEGÚN TRATAMIENTO

Año		Tratamiento									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1999	Inv.	trigo	cebada	trigo	cebada	avena	trigo	cebada	av/L	lotus	trigo
	Ver.	girasol	soja	girasol	maíz	girasol	sorgo	girasol	lotus	lotus	soja
2000	Inv.	trigo	trigo	cebada	avena	trigo	cebada	av/L	lotus	trigo	cebada
	Ver.	girasol	girasol	soja	girasol	sorgo	maíz	lotus	lotus	soja	girasol
2001	Inv.	trigo	cebada	trigo	trigo	cebada	avena	lotus	trigo	cebada	av/L
	Ver.	girasol	soja	girasol	sorgo	maíz	girasol	lotus	soja	girasol	lotus
2002	Inv.	trigo	trigo	cebada	cebada	avena	trigo	trigo	cebada	avena/L	lotus
	Ver.	girasol	girasol	soja	maíz	girasol	sorgo	soja	girasol	lotus	lotus
2003	Inv.	trigo	Cebada	trigo	avena	trigo	cebada	Cebada	av/L	lotus	trigo
	Ver.	girasol	soja	girasol	girasol	sorgo	maíz	girasol	lotus	lotus	soja
2004	Inv.	trigo	trigo	cebada	trigo	cebada	avena	av/L	lotus	trigo	cebada
	Ver.	girasol	girasol	soja	sorgo	maíz	girasol	lotus	lotus	soja	girasol
2005	Inv.	trigo	cebada	trigo	cebada	avena	trigo	lotus	trigo	cebada	av/L
	Ver.	girasol	soja	girasol	maíz	girasol	sorgo	lotus	soja	girasol	lotus
2006	Inv.	trigo	trigo	cebada	avena	trigo	cebada	trigo	cebada	avena/L	lotus
	Ver.	girasol	girasol	soja	girasol	sorgo	maíz	soja	girasol	lotus	lotus
2007	Inv.	trigo	Cebada	trigo	trigo	cebada	avena	Cebada	av/L	lotus	trigo
	Ver.	girasol	soja	girasol	sorgo	maíz	girasol	girasol	lotus	lotus	soja
2008	Inv.	trigo	trigo	cebada	cebada	avena	trigo	av/L	lotus	trigo	cebada
	Ver.	girasol	girasol	soja	maíz	girasol	sorgo	lotus	lotus	soja	girasol

9.3 ANEXO 3

EVOLUCIÓN DE LA SEVERIDAD EN TRIGO PARA EL AÑO 2009

	Días post siembra											
	0	69	77	84	92	98	106	113	119	126	133	140
Monocultivo	0	4,6	13,4	8,1	12,5	9,4	17,1	14,2	19,8	20,1	21,4	30,6
1 año s/trigo	0	0,8	2,8	1,1	6,9	1,1	3,3	2,6	6,7	8,7	8,0	33,4
2 años s/trigo	0	0,4	0,7	0,6	0,9	1,7	3,7	3,1	5,7	6,1	3,2	17,2
3 años s/trigo	0	0,3	0,4	0,2	0,6	0,9	2,0	2,2	5,6	5,4	6,5	19,4

EVOLUCIÓN DE LA BIOMASA VERDE EN TRIGO PARA EL AÑO 2009

	Días post-siembra											
	0	69	77	84	92	98	106	113	119	126	133	140
Monocultivo	100	95	82	89	87	91	81	68	60	46	32	25
1 año s/trigo	100	99	96	99	93	99	94	87	75	60	47	28
2 años s/trigo	100	100	99	99	99	98	95	86	76	63	51	32
3 años s/trigo	100	100	99	100	99	99	97	88	74	71	45	28

9.4 ANEXO 4

ANOVA DE LA EVOLUCIÓN DE LA ENFERMEDAD MEDIDA A TRAVÉS DEL PORCENTAJE DE SEVERIDAD EN TRIGO SEGÚN TRATAMIENTO

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0
132	706.83	824.64	-305.42	6.13	0.73

Pruebas de hipótesis secuenciales

	Num DF	F-value	p-value
(Intercept)	1	250.08	<0.0001
Bloque	2	5.52	0.0056
Tratamiento	3	20.56	<0.0001
Fecha	10	14.21	<0.0001
Trat : Fecha	30	0.68	0.8856

Medias ajustadas y errores estándares para tratamiento

DGC (alfa= 0.05)

Tratamiento	Medias	E.E.	
Monocultivo	15.37	1.07	A
1 año s/trigo	8.16	1.07	B
2 años s/trigo	5.48	1.07	B
3 años s/trigo	4.76	1.07	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

ANOVA DEL AUDCPE

Variable	N	R²	R² Aj	CV
AUDCPE	12	0.94	0.89	18.17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1159609.97	5	231921.99	19.49	0.0012
Bloque	70629.49	2	35314.74	2.97	0.127
Tratamiento	1088980.48	3	362993.49	30.51	0.0005
Error	71392.67	6	11898.78		
Total	1231002.64	11			

Test: Tukey Alfa= 0.05 DMS= 308.34148

Error: 11898.7778 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
Monocultivo	1115.4	3	A
1 año s/trigo	500.33	3	B
3 años s/trigo	418.7	3	B
2 años s/trigo	366.43	3	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

ANOVA DE PRESIÓN DE INÓCULO DE *PYRENOPHORA TRITICI-REPENTIS*
PROMEDIO DE TODO EL EXPERIMENTO PARA LOS MUESTREOS
REALIZADOS EN JUNIO Y OCTUBRE

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Conidios/m ²	24	0.72	0.62	79.17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15724353.27	6	2620725.55	7.34	0.0005
Bloque	550577.63	2	275288.82	0.77	0.4782
Tratamiento	11494502.8	3	3831500.93	10.72	0.0003
Momento	3679272.84	1	3679272.84	10.3	0.0051
Error	6073280.83	17	357251.81		
Total	21797634.1	23			

Test: Tukey Alfa= 0.05 DMS= 514.86743

Error: 357251.8133 gl: 17

Momento	Medias	n	
Junio	1146.47	12	A
Octubre	363.39	12	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

ANOVA DE PRESIÓN DE INOCULO DE *PYRENOPHORA TRITICI-REPENTIS* SEGÚN TRATAMIENTO PARA JUNIO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Conidios/m ²	12	0.86	0.74	54.03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13644278.19	5	2728855.64	7.11	0.0166
Bloque	1608692.8	2	804346.4	2.1	0.204
Tratamiento	12035585.39	3	4011861.8	10.46	0.0085
Error	2302071.29	6	383678.55		
Total	15946349.48	11			

Test: Tukey Alfa= 0.05 DMS= 1750.91289

Error: 383678.5487 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
Monocultivo	2857.71	3	A
2 años s/trigo	802.41	3	B
1 año s/trigo	586.4	3	B
3 años s/trigo	339.34	3	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

ANOVA DE PRESIÓN DE INOCULO DE *PYRENOPHORA TRITICI-REPENTIS*
SEGÚN TRATAMIENTO PARA OCTUBRE

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Conidios/m ²	12	0.86	0.74	62.76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1859895.84	5	371979.17	7.15	0.0164
Bloque	53726.61	2	26863.3	0.52	0.621
Tratamiento	1806169.23	3	602056.41	11.57	0.0066
Error	312115.93	6	52019.32		
Total	2172011.77	11			

Test: Tukey Alfa= 0.05 DMS= 644.70810

Error: 52019.3220 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
Monocultivo	1030.31	3	A
2 años s/trigo	188.27	3	B
3 años s/trigo	170.76	3	B
1 año s/trigo	64.21	3	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

ANOVA DE CANTIDAD DE RASTROJO POR METRO CUADRADO PARA JUNIO

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Peso (gr/m ²)	12	0.9	0.82	15.31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	579386.37	5	115877.27	11.25	0.0053
Bloque	159026.07	2	79513.04	7.72	0.0219
Tratamiento	420360.3	3	140120.1	13.6	0.0044
Error	61805.93	6	10300.99		
Total	641192.3	11			

Test: Tukey Alfa= 0.05 DMS= 286.89317

Error: 10300.9877 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
Monocultivo	859.56	3	A
1 año s/trigo	752	3	A
2 años s/trigo	683.11	3	A
3 años s/trigo	357.78	3	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

ANOVA DE CANTIDAD DE RASTROJO POR METRO CUADRADO PARA OCTUBRE

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso (gr/m ²)	12	0.68	0.42	28.01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	95291.56	5	19058.31	2.61	0.1373
Bloque	32414.52	2	16207.26	2.22	0.19
Tratamiento	62877.04	3	20959.01	2.87	0.1259
Error	43836.74	6	7306.12		
Total	139128.3	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=241.61522

Error: 7306.1235 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
2 años s/trigo	396.89	3	A
Monocultivo	338.22	3	A
1 año s/trigo	285.33	3	A
3 años s/trigo	200	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

ANOVA DEL POTENCIAL DE INÓCULO (NÚMERO DE CONIDIOS) POR GRAMO DE RASTROJO PARA JUNIO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Conidos/gr	12	0.86	0.74	54.03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13644278.19	5	2728855.64	7.11	0.0166
Bloque	1608692.8	2	804346.4	2.1	0.204
Tratamiento	12035585.39	3	4011861.8	10.46	0.0085
Error	2302071.29	6	383678.55		
Total	15946349.48	11			

Test: Tukey Alfa= 0.05 DMS= 1750.91289

Error: 383678.5487 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
Monocultivo	2857.71	3	A
2 años s/trigo	802.41	3	B
1 año s/trigo	586.4	3	B
3 años s/trigo	339.34	3	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

ANOVA DEL POTENCIAL DE INÓCULO (NÚMERO DE CONIDIOS) POR GRAMO DE RASTROJO PARA OCTUBRE

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Conidios/gr	12	0.86	0.74	62.76

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1859895.84	5	371979.17	7.15	0.0164
Bloque	53726.61	2	26863.3	0.52	0.621
Tratamiento	1806169.23	3	602056.41	11.57	0.0066
Error	312115.93	6	52019.32		
Total	2172011.77	11			

Test: Tukey Alfa= 0.05 DMS= 644.70810

Error: 52019.3220 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
Monocultivo	1030.31	3	A
2 años s/trigo	188.27	3	B
3 años s/trigo	170.76	3	B
1 año s/trigo	64.21	3	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0.05)

ANOVA DEL NÚMERO DE PSEUDOTECIOS DE *P. TRITICI-REPENTIS* POR METRO CUADRADO SEGÚN TRATAMIENTO PARA JUNIO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Pseudotecios/m ²	9	0.71	0.42	64.98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12346.53	4	3086.63	2.46	0.2027
Bloque	4393.63	2	2196.81	1.75	0.2847
Tratamiento	7952.9	2	3976.45	3.16	0.15
Error	5026.2	4	1256.55		
Total	17372.73	8			

Test: Tukey Alfa= 0.05 DMS= 103.14777

Error: 1256.5503 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	
3 años s/trigo	sd	0	A
Monocultivo	90.87	3	B
1 año s/trigo	54.73	3	B
2 años s/trigo	18.05	3	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

ANOVA DEL NÚMERO DE PSEUDOTECIOS DE *P. TRITICI-REPENTIS* POR METRO CUADRADO SEGÚN TRATAMIENTO PARA OCTUBRE

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Pseudotecios/m ²	9	0.8	0.59	67.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2173.37	4	543.34	3.93	0.1067
Bloque	1056.32	2	528.16	3.82	0.1181
Tratamiento	1117.05	2	558.52	4.04	0.1096
Error	552.94	4	138.24		
Total	2726.31	8			

Test: Tukey Alfa= 0.05 DMS= 34.21215

Error: 138.2359 gl: 4

Tratamiento	Medias	n	
3 años s/trigo	sd	0	A
Monocultivo	31.28	3	B
1 año s/trigo	17.07	3	B
2 años s/trigo	4	3	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

ANOVA DEL NÚMERO DE PSEUDOTECIOS DE *P. TRITICI-REPENTIS* POR GRAMO DE RASTROJO SEGÚN TRATAMIENTO PARA JUNIO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Pseudotecios/gr	9	0.46	0.28	72.63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7952.9	2	3976.45	2.53	0.1594
Tratamiento	7952.9	2	3976.45	2.53	0.1594
Error	9419.83	6	1569.97		
Total	17372.73	8			

Test: Tukey Alfa= 0.05 DMS= 99.26014

Error: 1569.9714 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
3 años s/trigo	sd	0	A
Monocultivo	90.87	3	B
1 año s/trigo	54.73	3	B
2 años s/trigo	18.05	3	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

ANOVA DEL NÚMERO DE PSEUDOTECIOS DE *P. TRITICI-REPENTIS* POR GRAMO DE RASTROJO SEGÚN TRATAMIENTO PARA OCTUBRE

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Pseudotecios/gr	9	0.41	0.21	93.87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1117.05	2	558.52	2.08	0.2057
Tratamiento	1117.05	2	558.52	2.08	0.2057
Error	1609.26	6	268.21		
Total	2726.31	8			

Test: Tukey Alfa= 0.05 DMS= 41.02671

Error: 268.2102 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
3 años s/trigo	sd	0	A
Monocultivo	31.28	3	B
1 año s/trigo	17.07	3	B
2 años s/trigo	4	3	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

ANOVA DEL NÚMERO DE PLANTAS IMPLANTADAS POR METRO LINEAL

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
No. plantas	12	0.61	0.29	4.17

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	24.9	5	4.98	1.89	0.2309
Bloque	12.17	2	6.08	2.31	0.1808
Tratamiento	12.73	3	4.24	1.61	0.2837
Error	15.83	6	2.64		
Total	40.73	11			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.59189

Error: 2.6389 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
2 años s/trigo	40.33	3	A
3 años s/trigo	39.5	3	A
1 año s/trigo	38.33	3	A
Monocultivo	37.67	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)

ANOVA DEL NÚMERO DE ESPIGAS POR METRO LINEAL

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
No. espigas/m	11	0.74	0.48	12.72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	679.47	5	135.89	2.87	0.1362
Bloque	309.39	2	154.7	3.26	0.1239
Tratamiento	370.08	3	123.36	2.6	0.1644
Error	236.95	5	47.39		
Total	916.42	10			

Test: LSD Fisher Alfa= 0.10 DMS= 11.91494

Error: 47.3894 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	
1 año s/trigo	61.42	3	A
3 años s/trigo	57.75	3	AB
2 años s/trigo	48.25	3	B
Monocultivo	46.63	2	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.10$)

ANOVA DEL NÚMERO DE GRANOS POR ESPIGA

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Granos/espiga	11	0.38	0	17.96

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	59.73	5	11.95	0.6	0.7054
Bloque	9.66	2	4.83	0.24	0.7931
Tratamiento	50.07	3	16.69	0.84	0.5281
Error	99.49	5	19.9		
Total	159.22	10			

Test: LSD Fisher Alfa= 0.10 DMS= 7.72053

Error: 19.8972 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	
Monocultivo	28.3	2	A
3 años s/trigo	25.82	3	A
1 año s/trigo	24.72	3	A
2 años s/trigo	21.67	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.10$)

ANOVA DEL NÚMERO DE GRANOS POR METRO CUADRADO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Granos/m ²	11	0.55	0.09	24.02

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	21760416.71	5	4352083.34	1.2	0.423
Bloque	7030905.18	2	3515452.59	0.97	0.4407
Tratamiento	14729511.53	3	4909837.18	1.35	0.3569
Error	18127057.1	5	3625411.42		
Total	39887473.81	10			

Test: LSD Fisher Alfa= 0.10 DMS= 3295.56499

Error: 3625411.4193 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	
1 año s/trigo	8916.48	3	A
3 años s/trigo	8871.03	3	A
Monocultivo	7612.17	2	A
2 años s/trigo	6198.6	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.10$)

ANOVA DEL PESO DE GRANO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso grano (mg)	11	0.72	0.43	2.38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9.06	5	1.81	2.51	0.1672
Bloque	4.56	2	2.28	3.17	0.1293
Tratamiento	4.5	3	1.5	2.08	0.2215
Error	3.6	5	0.72		
Total	12.67	10			

Test: LSD Fisher Alfa= 0.10 DMS= 1.46964

Error: 0.7210 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	
3 años s/trigo	36.77	3	A
1 año s/trigo	35.57	3	AB
2 años s/trigo	35.5	3	AB
Monocultivo	34.65	2	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.10$)

ANOVA DEL PESO HECTOLITRICO

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso hectolítrico	12	0.41	0	0.95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.18	5	0.44	0.83	0.5694
Bloque	0.85	2	0.42	0.81	0.4885
Tratamiento	1.33	3	0.44	0.85	0.5147
Error	3.13	6	0.52		
Total	5.31	11			

Test: LSD Fisher Alfa=0.10 DMS=1.14678

Error: 0.5224 gl: 6

Tratamiento	Medias	n	
1 año s/trigo	76.18	3	A
2 años s/trigo	76.12	3	A
Monocultivo	76.1	3	A
3 años s/trigo	75.37	3	A

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.10$)

ANOVA DE LA ESTIMACIÓN DE RENDIMIENTO CORREGIDO AL 12% DE HUMEDAD

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento (Kg/ha)	11	0.81	0.63	14.91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3806274.44	5	761254.89	4.34	0.0664
Bloque	1060028.79	2	530014.39	3.02	0.1378
Tratamiento	2746245.65	3	915415.22	5.22	0.0533
Error	876460.82	5	175292.16		
Total	4682735.26	10			

Test: LSD Fisher Alfa= 0.10 DMS= 724.65699

Error: 175292.1648 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	
3 años s/trigo	3422.13	3	A
1 año s/trigo	3058.6	3	AB
Monocultivo	2539.58	2	BC
2 años s/trigo	2125.6	3	C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.10$)