

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**IMPACTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE LA SIEMBRA DE
TRIGO SOBRE RASTROJO DEL MISMO CULTIVO. UN
ANÁLISIS BASADO EN REGISTROS DE PRODUCTORES
CREA**

por

Vanesa PEREIRA DE MELLO

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2013**

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Sebastián Mazzilli

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. Carlos Pérez

Fecha: 23 de julio de 2013

Autor: -----

Vanesa Pereira de Mello

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, que me ha apoyado desde el principio y que con su esfuerzo me ayudaron a que realizara esta carrera.

A mis amigos, que siempre me acompañaron y que hacen que esos años de facultad sean más fáciles de sobrellevar.

A los directores, Sebastián Mazzilli y Oswaldo Ernst, que estuvieron a disposición y me ayudaron en la realización de este trabajo y a Carlos Pérez que también estuvo a las órdenes mientras realicé la tesis.

A FUCREA, por habernos cedido la información, sin la cual no sería posible la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE TRIGO A NIVEL NACIONAL.....	2
2.2. PATÓGENOS ASOCIADOS A LOS RASTROJOS.....	3
2.2.1. <u>Condiciones predisponentes</u>	3
2.2.2. <u>Sobrevivencia del patógeno en los rastrojos</u>	5
2.3. PÉRDIDAS DE RENDIMIENTO.....	6
2.4. MEDIDAS DE MANEJO RECOMENDADAS.....	8
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	13
3.1. BASE DE DATOS.....	13
3.2. ANÁLISIS DE CUARTILES.....	16
3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	16
3.3.1. <u>Árbol de clasificación</u>	16
3.3.2. <u>Frontera de producción</u>	17
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	18
4.1. DESCRIPCIÓN DE LA BASE DE DATOS.....	18
4.1.1. <u>Localización</u>	18
4.1.2. <u>Antecedentes</u>	18
4.1.3. <u>Cultivares</u>	21
4.1.4. <u>Fecha de siembra</u>	27
4.1.5. <u>Fertilización nitrogenada</u>	28
4.1.6. <u>Fungicidas</u>	30
4.1.7. <u>Rendimiento</u>	32
4.2. ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS DE RENDIMIENTO.....	34
4.2.1. <u>Análisis de pérdidas para chacras en monocultivo</u>	34
4.2.2. <u>Análisis de cuartiles</u>	34
4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	39
4.3.1. <u>Estimación de frontera de producción</u>	39
4.3.2. <u>Análisis de frontera</u>	40
4.3.3. <u>Árbol de clasificación</u>	42

5. <u>CONCLUSIONES</u>	48
6. <u>RESUMEN</u>	50
7. <u>SUMMARY</u>	51
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	52

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Número de datos para cada variable en la base de datos trabajada.....	14
2. Número de chacras y porcentaje de chacras según antecesor de invierno para las zafras del 2008-2011.....	19
3. Porcentajes sobre el total de chacras (1312) de antecesores de verano según invierno.....	20
4. Porcentajes de cultivares susceptibles a mancha amarilla y mancha de la hoja y porcentaje de estos en monocultivo, para las zafras 2009-2011.....	25
5. Días entre la siembra y la primera aplicación de nitrógeno según antecesor de invierno.....	28
6. Días entre la siembra y la primera aplicación de nitrógeno según antecesor de verano	29
7. Nitrógeno total agregado según antecesor de invierno.....	29
8. Nitrógeno total agregado según antecesor de verano.....	30
9. Días entre la siembra y la primera aplicación de fungicida para los principales cultivares en las 3 zafras según el antecesor de invierno.....	31
10. Porcentaje del rendimiento sobre el promedio general según antecesor para las zafras 2009-2011.....	33
11. Resumen de análisis de pérdidas de rendimientos para los grupos 25% inferior-25% superior.....	35
12. Análisis comparativo de las chacras en monocultivo para los cuartiles 25% superior y 25% inferior.....	38
13. Coeficientes obtenidos en "Frontier Analysis".....	41
Figura No.	
1. No. de chacras según zona para las distintas zafras estudiadas.....	18
2. Porcentajes de los principales cultivares para las zafras a) 2008, b) 2009, c) 2010 y d) 2011.....	22
3. Nivel de susceptibilidad a mancha de la hoja, mancha	

amarilla y roya de la hoja de los cultivares sembrados en 1341 de las chacras evaluadas.....	23
4. Porcentaje de chacras según susceptibilidad a mancha de la hoja (MH), mancha amarilla (MA) y roya de la hoja (RH) para las zafras a) 2008, b) 2009, c)2010 y d) 2011.....	24
5. Porcentaje de chacras en trigo-trigo que fueron sembradas con cultivares susceptibles a mancha amarilla (MA) y mancha de la hoja (MH) para las zafras 2009, 2010 y 2011..	26
6. Porcentaje acumulado de chacras sembradas según fecha de siembra para las zafras a) 2008, b) 2009, c) 2010 y d) 2011.....	27
7. Número de fungicidas aplicados según cultivar.....	32
8. Porcentaje de pérdidas de rendimiento estimadas para las chacras en trigo-trigo con respecto a otros antecesores para las principales zonas y para las zafras del 2009 al 2011.....	34
9. Estimación de frontera de producción para antecesor trigo y otros antecesores según la fecha de siembra.....	40
10. Árbol de clasificación, incluyendo a las variedades.....	44
11. Árbol de clasificación, sin incluir variedades.....	46

1. INTRODUCCIÓN

El aumento del área de cultivos de invierno y los cambios organizacionales en las empresas a nivel local ha determinado una mayor presión sobre los recursos naturales y cambios en la dinámica y secuencias de cultivos. Mientras que el área del cultivo de cebada se ha mantenido prácticamente incambiada en los últimos años en el entorno de las 110.000 ha, el área de trigo ha tenido aumentos importantes, llegando a mantenerse en el entorno de las 500.000 has. Estos cambios determinan que un porcentaje importante del área de trigo se siembre sobre rastrojo del mismo cultivo. Esto a priori determinaría pérdidas de rendimientos consecuencia de enfermedades, aún con aplicaciones de fungicidas, aunque estas pérdidas no han sido cuantificadas correctamente.

Como hipótesis principal se plantea que la siembra de cultivos de trigo sobre rastrojos de trigo de la zafra anterior genera pérdidas de rendimiento del entorno del 20% y no existen prácticas de manejo que permitan disminuir esos niveles de pérdidas.

El estudio se realizó a partir de registros de cinco zafra de productores CREA. Como objetivo principal se espera estimar las pérdidas de rendimiento por la siembra de cultivos de trigo sobre antecesores del mismo cultivo. Además se pretende identificar medidas de manejo que estén siendo aplicadas por los productores y que permitan minimizar las pérdidas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE TRIGO A NIVEL NACIONAL

En las últimas zafras (2009-2012) el área agrícola estuvo dominada por el cultivo de soja en el verano y el cultivo de trigo en invierno con aproximadamente 860.000 hectáreas de soja (83% del área total de cultivos de verano) y 553.000 hectáreas de trigo (76% del área total de cultivos de invierno). De acuerdo al área agrícola del país y a la superficie sembrada con estos dos cultivos, resulta evidente que gran parte del área de dichos cultivos se está realizando sobre rastrojo del mismo cultivo, con las implicancias sanitarias que ello tiene. Como resultado de esto, las enfermedades (principalmente aquellas causadas por patógenos que sobreviven en el rastrojo) han pasado a tener una mayor importancia relativa como factor limitante de la producción de los distintos cultivos (Pérez y Villar, 2011).

Los cambios tecnológicos ocurridos en el sistema de producción agrícola del país han tenido un efecto diferencial sobre los distintos patógenos. La adopción generalizada de la siembra directa con permanencia del rastrojo en superficie tuvo un fuerte impacto en varios factores del sistema, pero fundamentalmente en la dinámica de los patógenos asociados a los rastrojos. Sin embargo, la problemática sanitaria no parecía modificarse demasiado en sistemas agrícolas ganaderos donde la fase pastura permitía tiempo suficiente para que el rastrojo de los distintos cultivos agrícolas se descompusiera completamente y gran parte de los patógenos allí sobreviviendo llegaran a inóculo cercano a cero, aún en sistemas sin laboreo (Pérez y Villar, 2011).

La problemática sanitaria resurgió cuando la producción de granos comenzó a tener mayor competitividad que otros rubros y las propiedades físico-químicas del suelo en sistemas sin laboreo comenzaron a evidenciar una cierta independencia de la fase pastura (García Préchac et al., 2004). La coincidencia de estos dos factores llevó al sistema agrícola uruguayo hacia una predominancia de sistemas de agricultura continua sin laboreo. Actualmente sólo existen dos alternativas principales de invierno (trigo y cebada) y cuatro alternativas de verano (soja, girasol, maíz y sorgo), a su

vez, hay patógenos que son compartidos por varios de estos cultivos. Por consiguiente, la intensificación de la producción agrícola junto con la reducida lista de cultivos que aparecen en el «menú» uruguayo, han afectado una vez más la dinámica de los patógenos en dichos sistemas (Pérez y Villar, 2011).

2.2. PATÓGENOS ASOCIADOS A LOS RASTROJOS

Como principales enfermedades de rastrojo para el cultivo de trigo se han identificado a las siguientes: *Gaeumannomyces graminis var. tritici*, causante del pietín del trigo (enfermedad de la raíz), ésta en la actualidad no es un problema importante en Uruguay; *Pyrenophora tritici-repentis*, causante de la mancha amarilla (enfermedad foliar), *Bipolaris sorokiniana*, causante de mancha marrón y *Septoria tritici*, agente causal de septoriosis o mancha de la hoja (Pereyra et al., 2011).

2.2.1. Condiciones predisponentes

La temperatura óptima para el desarrollo de *P. tritici-repentis* es 19-22 °C con un rango de 10° a 31°C. La humedad relativa alta es favorable y las lluvias no son tan importantes en el proceso de dispersión como lo son para *Septoria tritici*, debido a que en este caso también están presentes las esporas sexuales diseminadas por el viento. Lluvias frecuentes y prolongados períodos frescos y húmedos favorecen el desarrollo de la enfermedad (Díaz de Ackermann, 2011a)

Aumentos en la incidencia de la enfermedad se han atribuido a los cambios en las prácticas culturales, incluyendo cambios de labranza convencional por prácticas de cero laboreo, rotaciones más cortas, cultivo de trigo continuo y el uso de cultivares altamente susceptibles. Además, la eliminación de la quema de rastrojo se considera como una de las causas de la mayor incidencia en Australia y otras áreas del mundo (Ciuffetti y Tuory, 1999).

Para *Bipolaris sorokiniana* las altas temperaturas y la alta humedad relativa favorecen el brote de la enfermedad. La infección puede ser tan grave que las plantas infectadas se secan sin producir ninguna semilla. En

condiciones favorables, las espiguillas pueden verse afectadas, causando el arrugamiento del grano. La susceptibilidad al patógeno aumenta alrededor de Z 56. En esta etapa, si las condiciones meteorológicas son propicias, es decir, lluvia durante 5-6 días, seguido de altas temperaturas (promedio día de 20-30°C), la epifítia se puede desarrollar muy rápidamente (Mehta, citado por Kumar et al., 2002). En condiciones de poca intensidad de luz, el patógeno puede colonizar tejidos del huésped intercelularmente sin causar un daño visible. La infección fúngica acelera la senescencia foliar en etapas de crecimiento posteriores (Dehne y Oerke, citados por Kumar et al., 2002).

Para *Septoria tritici* la temperatura óptima para el desarrollo de la enfermedad es de 20-25 °C con un rango de 2-3/33-37 °C. La humedad relativa alta es favorable y las lluvias son importantes, sobre todo en el proceso de dispersión. Los procesos de infección se producen mejor en días nublados y lluviosos con temperaturas entre 20 y 25°C (Eyal et al., citados por Díaz de Ackermann, 2011b).

Gaeumannomyces graminis var. tritici, tiene la capacidad de sobrevivir por la colonización saprofítica de los restos de cultivo (común a todos los patógenos que afectan la raíz). El desarrollo de la enfermedad se ve favorecido en condiciones de alta humedad del suelo y precipitaciones, baja fertilidad, suelos compactos (mala aireación) y alcalinos. Temperaturas entre 12 y 18°C favorecen la infección.

Para que la probabilidad de ocurrencia de cualquiera de las mencionadas enfermedades prospere, debe coincidir en el tiempo y en el espacio un cultivo susceptible, un patógeno virulento, y condiciones ambientales que favorezcan el desarrollo de la enfermedad. Si no ocurren condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad, entonces por más que el cultivo sea susceptible, y el patógeno sea virulento, si las esporas no pueden germinar por falta de humedad o el patógeno no puede desarrollarse por falta de temperatura adecuada, entonces no habrá epidemia (Pérez et al., 2011).

2.2.2. Sobrevivencia del patógeno en los rastrojos

La adopción generalizada de la siembra directa, desde el punto de vista epidemiológico, resulta en un aumento en la presión de inóculo de aquellos patógenos que tienen la capacidad de sobrevivir en los rastrojos que permanecen en superficie (Stewart et al., 2004). Esta exposición a una mayor presión de inóculo aumenta las probabilidades de ocurrencia de epidemias severas, y condiciona la eficiencia del resto de las medidas de manejo, principalmente el uso de cultivares resistentes y el uso de fungicidas, resultando en una mayor interferencia de las enfermedades sobre los distintos cultivos (Pérez et al., 2011).

A la adopción de la siembra directa, se debe sumar el hecho de que el cultivo de trigo ha aumentado significativamente el área de siembra, y su participación relativa en los esquemas de rotación, lo que resulta en una mayor frecuencia de siembra del cultivo en chacras donde aún permanecen rastrojos de la misma especie y por consiguiente el inóculo de los patógenos allí sobreviviendo (Pérez et al., 2011).

La descomposición de restos vegetales del cultivo de trigo es la forma para eliminar gran parte del inóculo de enfermedades. Este proceso de eliminación de los fitopatógenos necrotróficos puede llevar de 12 a 16 meses (Reis y Santos, 1993). Este sería el período requerido, sin presencia de inóculo para volver a sembrar trigo. En sistemas de trigo y soja bajo cero labranza, como en monocultivo de trigo, el inóculo de hongos necrotróficos generalmente sobrevive hasta la próxima zafra de trigo. Normalmente, se requiere un mínimo de 1 a 2 años entre cultivos de trigo para reducir las poblaciones de estos organismos (Duczec et al., 1999). En los sistemas de cero laboreo, la mineralización de residuos de cultivos es lenta, requiere en promedio de 14 a 16 meses en Brasil (Reis y Carmona, citados por Simón et al., 2011), y aproximadamente 18 a 32 meses en Argentina y Uruguay debido a las menores temperaturas medias (Utermark 1995, Cordo et al. 2005).

En INIA La Estanzuela se evaluó la descomposición del rastrojo en superficie a lo largo del tiempo en distintos sistemas de rotación, promediando un periodo de 15-18 meses luego de la cosecha para lograr

una situación de menor riesgo sanitario para reintroducir el trigo, debido a la presencia de sólo un 21.5% del rastrojo de este cultivo (Stewart et al., 2001).

En casos de alta infección de *B. sorokiniana* hace que sea necesario omitir el trigo durante al menos dos años, al menos en la zona sur de Brasil, con el fin de producir rendimientos económicamente viables (Reis y Kohli, 1994). En un estudio realizado en esta misma zona, en *B. sorokiniana* y *P. tritici-repentis* se encontró que sus esporas persisten en los residuos sobre la superficie durante al menos un año. En la cosecha 890 conidios de *B. sorokiniana* y 4166 de *P. tritici-repentis* fueron encontrados por gramo de residuo. Siete meses más tarde, en el momento de la siembra, 302 conidios por gramo de residuo fueron contados para ambos agentes patógenos. Trece meses después de la cosecha, los residuos se descomponen por completo y los patógenos no se recuperaron. Por lo tanto, la presencia de residuos de cosecha de trigo indica la presencia de parásitos necrotróficos (Reis y Kohli, 1994).

2.3. PÉRDIDAS DE RENDIMIENTO

En el trabajo realizado por Santos et al. (1998), el monocultivo de trigo redujo significativamente el número de espigas, número de granos y el peso de los granos, cuando se la compara con sistemas de rotación. En todos los años estudiados y en la media de los años, el rendimiento de granos de trigo difirió significativamente entre los sistemas de rotación. En 1992, 1993, 1994 y 1995 y en el promedio de los años, el menor rendimiento de granos se manifestó en el monocultivo de trigo (promedio de los años: 2.238 kg/ha), en relación a un invierno (promedio: 3.502 kg/ha), a dos inviernos (promedio: 3.403 kg/ha), a tres inviernos sin trigo (promedio: 3.629 kg/ha), a dos inviernos sin y dos con trigo (promedio: 3.476 e 3.290 kg/ha) y a tres inviernos sin y dos con trigo (promedio: 3.557 y 3.528 kg/ha). En este trabajo los tratamientos fitosanitarios se realizaron de acuerdo a las recomendaciones de las comisiones de pesquisas para cada cultivo. Los tratamientos fueron considerados fijos, se consideró que no hubo diferencias, en relación a los fungicidas, para los distintos tratamientos.

Reis et al. (1983) observaron que el rendimiento obtenido en el monocultivo de trigo fue más bajo (377 kg/ha), en relación a un invierno

(1.045 kg/ha) y a dos inviernos (2.044 kg/ha) sin este cereal. Reis y Kohli (1994) verificaron menores rendimientos de granos en el monocultivo de trigo (1790 kg/ha), cuando comparada con dos inviernos (2.528 kg/ha) o con tres inviernos (media de tratamientos: 2.619 kg /ha) sin esta gramínea. Cabe aclarar, al igual que en el caso anterior, los tratamientos fitosanitarios fueron realizados de acuerdo a las recomendaciones oficiales para cada cultivo.

Slope et al., citados por Santos et al. (1998), en Inglaterra, observó que el rendimiento en granos, en monocultivo de trigo (4.530 kg/ha) fue menor que a dos inviernos (5.460 kg/ha) sin trigo. En un trabajo realizado en Canadá, Sturz y Bernier (1989) también observaron que el monocultivo de trigo (3.179 kg/ha) mostró menor rendimiento en grano que un invierno sin esta gramínea, alternando con colza (4.203 kg/ha) o con lino (4.076 kg/ha. Santos et al. (1996), en un trabajo en Paraná (Brasil), sobre sistema de siembra directa, verificaron menor rendimiento en grano en el monocultivo de trigo (3.014 kg/ha), en comparación a un invierno (3.355 kg/ha), a dos inviernos (3.494 kg/ha) y a tres inviernos (3.362 kg/ha) sin trigo

Las pérdidas de producción atribuidas a *P. tritici-repentis* se han extendido de 3 a 50% en las planicies centrales de Estados Unidos y Canadá. Además es la enfermedad de más rápida propagación en la región sur de América del Sur y graves pérdidas han sido reportados en Argentina, Brasil y Paraguay (Ciuffetti y Tuory, 1999). No obstante, La distribución de mancha amarilla se restringe a zonas trigueras templadas y húmedas y las pérdidas de rendimiento oscilan entre 3 y 84% (Díaz de Ackermann, 2011a).

Por otra parte, *Septoria tritici* también causa graves pérdidas de rendimiento. A nivel mundial se ha informado que las mismas oscilan entre 31 y 54% (Eyal et al., citados por Díaz de Ackermann, 2011b). A nivel nacional, en el período desde 1976 a 2009 se han observado promedios de rendimiento nacionales por debajo de los esperados en 14 años. En siete de ellos las manchas foliares fueron muy importantes y en dos fueron importantes. Las mermas nacionales oscilaron entre 2 y 54% (Díaz de Ackermann, 2011b).

Mediante ensayos específicos en INIA La Estanzuela, se han estimado pérdidas de rendimiento causadas por *Septoria tritici* desde 1967 al

2002. Dicho período se puede dividir en cinco etapas 1967, 1974/79, 1991/93, 1997/1999 y 2001/2002 difiriendo básicamente en el grupo de cultivares que se evaluaron en cada etapa. En la primera las pérdidas oscilaron entre 16 y 60%, en la segunda entre 4 y 64% y en la tercera entre 0 y 34%. En la cuarta etapa las mermas llegaron a 69% y en la quinta etapa la presencia de roya de la hoja fue muy importante y la disminución de rendimiento se debió a ambos patógenos en la mayoría de los casos, situación en la que la merma llegó 84% (Díaz de Ackermann, 2011b).

2.4. MEDIDAS DE MANEJO RECOMENDADAS

Se han reportado diversas medidas de control para las enfermedades que afectan al trigo. Como medidas efectivas se pueden citar, la utilización de resistencia genética, la rotación de cultivos, tratamiento de la semilla y aplicación de fungicidas (Reis y Kohli, 1994). Para el caso de patógenos que sobreviven en el rastrojo, la rotación de cultivos sería la medida más eficiente de control de estas enfermedades, pero no se deben ignorar las otras medidas.

La rotación de cultivos y el buen manejo de los residuos puede afectar drásticamente las poblaciones de los patógenos que dependen exclusivamente de los residuos como sustrato durante la fase saprofítica (Cook et al., 1978). La mayoría de los parásitos necrotróficos de trigo carecen de propágulos resistentes y tienen una capacidad saprofítica débilmente competitiva. Esto hace que sean propensos al control por la destrucción de los residuos de cosecha (Reis y Kohli, 1994)

La no adopción de la rotación de cultivos favorece la sobrevivencia y multiplicación de patógenos del sistema radicular (pietín del trigo, *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* y *Bipolaris sorokiniana*), de manchas foliares (mancha marrón, *B. sorokiniana*; septoriosis, *Stagonospora nodorum* y *Septoria tritici* y mancha amarilla, *Drechslera tritici-repentis*) del trigo (Reis et al., Santos et al., citados por Santos et al., 1998). Santos et al. (1996), en Paraná (Brasil), verificaron valores más elevados para la severidad de las enfermedades del sistema radicular de trigo en monocultivo, sobre sistema de siembra directa, en relación a los sistemas con uno, dos y tres inviernos sin trigo.

En Uruguay se estudió el efecto de la rotación en siembra directa con avena, trigo y rastrojo de trigo quemado en los años 1996-1998. Se observó que la introducción de la avena reducía la infección causada por *P. tritici-repentis* a lo largo del ciclo del cultivo en los tres años. Por el hecho de haber introducido la avena en la rotación, la cantidad de mancha amarilla causada por *P. tritici-repentis* disminuyó en un 73% en 1996, 15% en 1997 y 80% en 1998. Si se analizan los tres años conjuntamente, la eficiencia de esta herramienta fue de 64 % para trigo (Stewart et al., 2001).

En un estudio realizado por Santos et al. (1998) se demostró que la severidad de las enfermedades del sistema radicular de trigo difirió significativamente entre los sistemas de rotación y el monocultivo. Los valores más elevados ocurrieron en monocultivo (50%), en comparación a los sistemas de rotación, sin trigo en: un invierno (13%), dos inviernos (10%), tres inviernos (10%), a dos inviernos sin y dos con trigo (13 y 16%) y a tres inviernos sin y dos con trigo (12 y 19%). Esto demuestra que un año de rotación de cultivos, con especies no susceptibles, elimina los inconvenientes del monocultivo.

En un trabajo conducido por Reis et al. (1983), en Rio Grande do Sul, presenta el monocultivo de trigo con valores más elevados de severidad de las enfermedades del sistema radicular (92%), en relación a un invierno (67%) y a dos inviernos (12%) de rotación sin esta gramínea. En la continuidad de este estudio, Reis y Kohli (1994), obtuvieron resultados similares de severidad de *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* y *B. sorokiniana*, en monocultivo de trigo (71%), en comparación a dos inviernos (29%) y a tres inviernos sin trigo (32%).

Ledinghan, citado por Santos et al. (1998), en un trabajo realizado en Canadá, encontró los siguientes porcentajes de severidad de *Bipolaris sorokiniana*: monocultivo de trigo (68%), un invierno (64%), dos inviernos (37%), tres inviernos (34%) y cinco inviernos (14%) sin este cereal. Los estudios realizados por Slope et al., citados por Santos et al. (1998), en Inglaterra y por Santos et al. (1996), en Paraná (Brasil), sobre sistema de siembra directa, confirman también los resultados ya expresados, reafirmando la mayor severidad en monocultivo de trigo. Por su parte Zentner et al., citados por Santos et al. (1998), evaluando económicamente

cuatro sistemas, entre 1984 y 1988, concluyen que el sistema con un invierno de rotación de cultivos para trigo fue lo que propició el mejor retorno económico.

La rotación de trigo y cebada con cultivos no-susceptibles a las enfermedades de ambos, es una manera de suprimir al huésped o sustrato nutricional del hongo, dándole tiempo suficiente para que los microorganismos del suelo mineralicen el rastrojo (Stewart et al., 2001).

En lo que hace referencia específicamente a *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, los métodos del control químico basándose en tratamientos de la semilla (Wenz et al. 1998, Joseph-Horne et al. 2000) se desarrollaron, pero han resultado sólo parcialmente efectivos (Schoeny y Lucas, 1999). Las prácticas de cultivo, tales como la rotación de cultivos (Cook, 2003), la siembra tardía (Colbach et al., 1997) y la fertilización con formas amoniacales de nitrógeno (Smiley y Cook, Sarniguet et al., citados por Lebreton et al., 2004) se encuentran actualmente a disposición de los agricultores para limitar esta enfermedad (Lebreton et al., 2004).

Con respecto a *P. tritici-repentis*, el desarrollo de resistencia de algunos cultivares de trigo en conjunción con la rotación de cultivos, proporciona una eficaz, económica y ambientalmente segura alternativa de control de la enfermedad. Aunque la aplicación de fungicidas es eficaz en el control de dicha enfermedad, su uso puede dejar residuos indeseables. Por lo tanto, el uso de cultivares resistentes, en relación con la rotación de cultivos, son los más eficaces, respetuosos del medio ambiente y económicos medios para controlar *P. tritici-repentis* en trigo. Además en condiciones favorables para la enfermedad y alta presión de inóculo, el control de manchas foliares con aplicaciones de fungicidas es muy difícil aún en cultivares de comportamiento aceptable (Pereyra y Díaz de Ackermann, 2011).

Bockus y Claassen (1992) informaron que la rotación era tan eficaz como el arado para el control de *P. tritici-repentis*. El hongo forma ascosporas y conidios, los cuales pueden servir como inóculo. Las ascosporas son dispersadas distancias relativamente cortas, mientras que los conidios pueden ser ampliamente dispersos (Schilder y Bergstrom,

1992). Al parecer, rotaciones de cultivo son esenciales para reducir el número de ascosporas de residuos de trigo en regiones donde las ascosporas son un inóculo importante a principios de la temporada (Simón et al., 2011).

En un experimento realizado en la “Estación Experimental Mario A. Cassinoni” de la Facultad de Agronomía, durante el período 2006-2008 se compara la cantidad de enfermedad (*P. tritici-repentis*) en los tratamientos con monocultivo y 1 año sin trigo, 2 años sin trigo o 3 años sin trigo. Los resultados indican que 1 año sin trigo redujo significativamente los niveles de enfermedad a lo largo del cultivo en el 2007 y 2008, pero no en el 2006. En años en que ocurren condiciones favorables para el desarrollo de epidemias tempranas en el ciclo (como lo ocurrido en el 2006), la rotación de un solo año es ineficiente porque los niveles de inóculo continúan siendo lo suficientemente elevados como para desencadenar epidemias similares a las del monocultivo. Esto indica que la eficiencia de rotar cultivos de modo de dejar un año sin trigo depende de las condiciones del año, y que de acuerdo a los datos obtenidos en el experimento, la forma de minimizar el riesgo de ocurrencia de epidemias de mancha amarilla en sistemas en siembra directa es con esquemas de rotación que permitan 2 años sin trigo en la misma chacra, de modo de independizarse de las condiciones ambientales del año (Pérez et al., 2009). Los resultados obtenidos permiten concluir que 2 o 3 años de rotación sin cultivos susceptibles permiten minimizar el impacto del inóculo presente en el rastrojo sobre la sanidad del cultivo a sembrar. Por otro lado, las rotaciones de un año sin cultivo susceptible pueden minimizar el problema pero el éxito de esta medida es fuertemente influenciado por las condiciones ambientales (Pérez et al., 2011).

En el caso de *Septoria tritici*, se ha reportado que la prevalencia de la enfermedad en los cultivos es controlada por una combinación de variedades resistentes y aplicaciones de fungicidas. Ha habido un progreso sustancial en la obtención de variedades resistentes de trigo en los últimos 15 años, basado en gran medida la resistencia parcial que es ampliamente eficaz contra todos los genotipos conocidos por hongos y por lo tanto duraderos (Angus y Fenwick, 2008).

En aquellas regiones donde la enfermedad es un serio problema, evitar el uso de variedades muy susceptibles y siembras tempranas. En Uruguay es importante el efecto que tiene la época de siembra en el desarrollo de *Septoria tritici*. Las siembras de otoño pueden ser severamente afectadas, observándose en las hojas inferiores infecciones tempranas dependiendo del año. Estas infecciones no son importantes en cuanto a área afectada, pero si son muy importantes como fuente de inóculo secundario para las infecciones tempranas que ocurren en la primavera (Díaz de Ackermann, 2011b).

En lo que respecta a la eficiencia del control químico en *Septoria tritici*, se han reportado en Uruguay incrementos en el rendimiento de 10% hasta 60%, variando estos incrementos según el número de aplicaciones, el momento de aplicación y el grado de infección. En un estudio realizado en INIA La Estanzuela (1992-1994) se observó que en un año con alta infección de *Septoria tritici*, se obtuvo un incremento del rendimiento de 61% con dos aplicaciones, 50% con una aplicación temprana y 39% con una aplicación tardía. En un año con baja infección, se obtuvo un incremento de 10% con dos aplicaciones, 12% con una aplicación temprana y 16% con una aplicación tardía. Por lo tanto, la aplicación temprana (elongación), resultó altamente eficiente en el control de *Septoria tritici* (Díaz de Ackermann, 1996). En estudios más recientes en INIA La Estanzuela (2004-2006) se obtuvieron eficiencias de control con fungicidas de entre 60-80%. Para el caso de mancha amarilla se han reportado eficiencias de control cercanas al 50%, variando según el principio activo del producto químico, momento de aplicación y estado del cultivo (Díaz de Ackermann, 2011b).

Otro aspecto a considerar es que las manchas foliares de trigo se introducen en campos no infectados a través de la semilla infectada (Shaner, 1981). Los principales patógenos que infectan a las semillas de trigo son *B. sorokiniana*, *P. tritici-repentis*, y *S. nodorum*. El objetivo principal del tratamiento de semillas es para evitar la introducción de estos parásitos a las chacras no infectadas. Una vez introducido, permanecerán allí en la fase saprofítica, mientras que residuos de cultivos infectados duran indefinidamente bajo monocultivo de trigo. Es importante que la eficiencia de control de los tratamientos de semillas sea 100% con el fin de eliminar los patógenos de las semillas (Reis y Kohli, 1994).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. BASE DE DATOS

Se utilizaron datos de productores CREA para la elaboración de una base de datos que incluyera la máxima información posible de registros de chacras de producción. En un principio se trabajó con datos de 5 zafras, desde el 2007 al 2011. La información básica que tiene cada base de datos es la siguiente: grupo CREA al que pertenece el productor, nombre o empresa del productor, zona donde se encuentran las chacras, nombre del potrero sobre el cual se esté trabajando. También estaba la información de antecesores de verano y de invierno, estos corresponden a los cultivos de verano e invierno inmediatamente anteriores al cultivo actual. Se contaba con el cultivar de trigo sembrado en cada chacra. Además se contaba con el tipo de suelo según la clasificación de CIDE de cada chacra y la unidad de suelo sobre la cual estaba cada chacra.

Por otra parte había datos de fertilización y a partir de esta se calcularon las unidades de nitrógeno, fósforo, potasio y azufre a siembra más pre-siembra, número de aplicaciones de nitrógeno, unidades de nitrógeno en la primera aplicación y en segunda aplicación y por último el nitrógeno total agregado. También se relevó la información del uso de fungicidas, a partir de esta se calculó la relación de estrobilurinas/triazoles en cada una de las aplicaciones realizadas. Se calcularon los días a primera aplicación de nitrógeno, lo mismo para el caso de los fungicidas. Y para finalizar se contaba con el dato de rendimiento de las chacras. Luego de recabada y calculada la información anterior se tuvieron que eliminar todas las chacras de la zafra 2007 por falta de información completa, por lo que el análisis final se basa en las zafras 2008-2011. Con el dato del cultivar sembrado se obtuvo la información sanitaria del mismo. La misma fue recabada de la "Evaluación de Cultivares" realizada cada año por INIA-INASE. La misma cuenta con análisis para las siguientes enfermedades: *Septoria tritici* (mancha de la hoja), *Pyrenophora tritici-repentis* (mancha amarilla), *Fusarium spp*, *Puccinia triticina* (roya de la hoja), *Blumeria graminis f.sp. tritici* (oidio) y *Puccinia graminis f.sp. tritici* (roya del tallo). La información utilizada fue la que se expide cuando culminaba la zafra, es decir, para el año 2008, la información sanitaria utilizada fue la que se

publicó en el 2009, lo mismo para las zafras siguientes. La escala de resistencia o susceptibilidad se clasifica de la siguiente forma: A, alta susceptibilidad a la enfermedad; I, intermedia susceptibilidad; B, baja susceptibilidad; luego se cuenta con puntos intermedios.

A continuación se presenta un resumen de la base de datos. Se presentan las principales variables estudiadas y a su vez se muestra el número de datos con que se trabajó para cada una de ellas. De un total de 1368 registros, no se obtuvo información completa de todas las variables.

Cuadro No. 1: Número de datos para cada variable en la base de datos trabajada

Tecnología	Variable	No. de datos
Chacra	Antecesor de Invierno	1368
	Antecesor de Verano	1362
	CIDE	1363
	Unidad de Suelos	836
Siembra	Fecha de Siembra	1354
	Cultivar	1347
	Sanidad	1347
	Densidad de Siembra	1333
Fertilización	Fórmula de fertilizante primera aplicación pre-siembra	179
	Dosis primera aplicación pre-siembra	179
	Fórmula de fertilizante segunda aplicación pre-siembra	37
	Dosis segunda aplicación pre-siembra	37
	Fórmula de fertilizante a la Siembra	1272
	Dosis de Fertilizante a la Siembra	1225
	Kilos de Nitrógeno a siembra +pre-siembra	1211
	Kilos de Fósforo a siembra +pre-siembra	1297
	Kilos de Azufre a siembra +pre-siembra	321
	Kilos de Potasio a siembra +	93

	pre-siembra	
	Fórmula de fertilizante primera aplicación en cultivo	1303
	Dosis primera aplicación en cultivo	1286
	Formula de fertilizante segunda aplicación en cultivo	709
	Dosis segunda aplicación en cultivo	700
	No. de aplicaciones de nitrógeno	1317
	Unidades de N en primera aplicación	1286
	Unidades de N en segunda aplicación	693
	Total de N agregado	1211
	Días a la primera aplicación de nitrógeno	901
Control Químico	Fungicida utilizado en la primera aplicación	627
	Dosis de fungicida en primera aplicación	626
	Fecha de la Primera aplicación	528
	Fungicida utilizado en la segunda aplicación	283
	Dosis de fungicida en segunda aplicación	282
	Fecha de la segunda aplicación	259
	Fungicida utilizado en tercera aplicación	41
	Dosis de fungicida en tercera aplicación	41
	Fecha de la tercera aplicación	32
	No. de aplicaciones de fungicidas	636
	Relación estrobilurinas/triazoles en primera aplicación	568
	Relación estrobilurinas/triazoles en segunda aplicación	199
	Días a la primera aplicación de fungicidas	575
		Rendimiento

Se definieron las zonas estudiadas de la siguiente manera:

- Litoral Norte: Rio Negro al norte
- Litoral Sur: Soriano al sur.
- Centro: Durazno, Flores y Norte Florida.
- Sureste: Sur Florida, Maldonado, Canelones
- Noreste: Treinta y Tres

3.2. ANÁLISIS DE CUARTILES

En el análisis de pérdidas de rendimiento se optó por dividir los datos en cuartiles. Se contaron las chacras de las cuales se tenían datos de rendimiento. Luego se ordenaron estas de forma creciente por rendimiento y a partir de esto se dividieron los datos en cuatro grupos de 337 datos cada uno. El grupo de rendimientos más bajos conforma el cuartil de datos 25% inferior y el grupo de rendimientos más alto integra el cuartil de datos 25% superior. A partir de esta información se realizó un cuadro comparativo con las variables más importantes.

3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.3.1. Árbol de clasificación

Para el análisis estadístico de los resultados se procedió a la realización de “Árboles de Clasificación”, estos son un conjunto de muchas reglas determinadas por un procedimiento de ajuste por particiones binarias recursivas, donde un conjunto de datos es sucesivamente particionado.

Para la realización se estandarizaron por el rendimiento a las variables cualitativas, zafra, zona, antecesor de invierno y antecesor de verano con la siguiente fórmula: $((Rch-Rz)/Rz)$, siendo: Rch el rendimiento de la chacra y Rz el rendimiento promedio de la zafra. La variedad también se debió estandarizar, pero en este caso las variedades llevaron el nombre según el máximo rendimiento, por ejemplo, BIOINTA 3000 pasó a llamarse 4496, y así ocurrió con todos los cultivares presentes en la base de datos. La sanidad del cultivar también se estandarizó, en este caso se le asignaron valores del 1 al 5 según la susceptibilidad del cultivar, cuando era muy

susceptible se le asignó un 5, 4 cuando la susceptibilidad era intermedia a alta, 3 intermedio, 2 cuando el cultivar presentó de baja a intermedia susceptibilidad y los cultivares resistentes tendrían un valor de 1. Para el caso de la fecha de siembra se obtuvieron los rangos óptimos para las distintas variedades, las chacras que se sembraron dentro de ese rango recibieron el valor de 0, luego por cada día por fuera del rango se le asignaron números crecientes (por ej., un día por fuera del rango, el valor asignado fue de 1, así sucesivamente).

Luego de realizada la estandarización se pudieron conformar los árboles. Los 2 árboles se diferencian en que uno incluye a los cultivares, en este, estos son los que tienen el mayor peso, dejando a las otras variables como secundarias, y otro en el que no se incluyen a los cultivares. Esto se realizó para poder observar que tan importante son las variables restantes.

3.3.2. Frontera de producción

El “Análisis de Frontera” es una función de regresión donde se modelan los máximos rendimientos obtenidos para cada valor en el eje “x”.

Para este caso se realizaron dos estudios. Por un lado se tomaron los datos de máximos rendimientos según la fecha de siembra (juliano). Lo que se hizo fue ordenar la fecha de siembra y se observaron los máximos rendimientos en estas fechas, luego se graficaron los mismo, obteniéndose de esta manera la frontera de producción. A esta gráfica se le agregaron las chacras que fueron sembradas sobre trigo y se observó la ubicación de las mismas con respecto a la frontera.

Por otro lado se estimó la frontera de producción utilizando el paquete estadístico “Frontier Analysis” (Frontier v 4.1c). Para ello se tomaron variables que definen la frontera de producción (días fuera del rango óptimo de fecha de siembra de cada variedad, nitrógeno total agregado como fertilizante, zafra, zona, rendimiento potencial de la variedad, comportamiento sanitario frente a *Septoria tritici*) y un factor que lo limita estructuralmente (antecedentes de invierno trigo/no trigo).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DESCRIPCIÓN DE LA BASE DE DATOS

4.1.1. Localización

Se puede observar que en todos los años más del 80% de las chacras se ubican en las zona litoral norte, litoral sur y centro del país. Considerando todas las chacras en conjunto, independientemente de la zafra, hay aproximadamente un 94% de éstas que está situada sobre las citadas zonas, siendo menos del 10% las chacras ubicadas sobre el noreste y sureste de acuerdo a la clasificación de zonas utilizada por FUCREA.

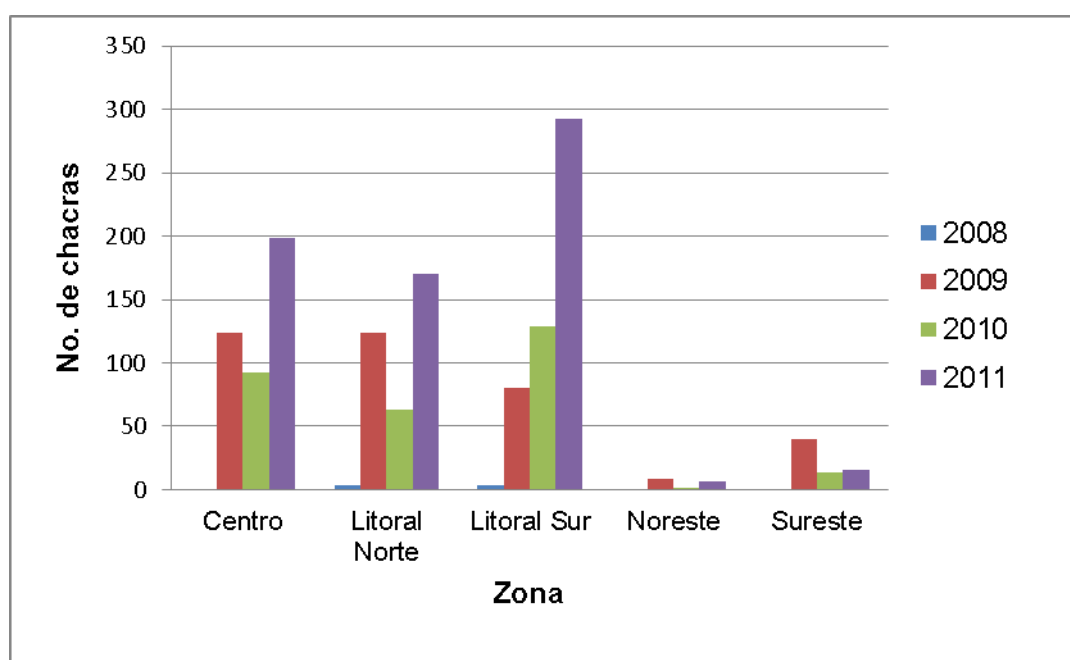


Figura No. 1: No. de chacras según zona para las distintas zafras estudiadas

4.1.2. Antecedentes

Un importante número de chacras tienen como antecesor de invierno al barbecho químico, no obstante, hay un 18% de estas que fue sembrada sobre rastrojo de trigo, definiendo un sistema de monocultivo de trigo durante la temporada de cultivos de invierno. Pudiendo representar esto un problema en el caso de las enfermedades que permanecen en el rastrojo, corriendo el riesgo de perder porcentajes elevados del rendimiento potencial.

Por su parte las pasturas representan sólo un 7% lo que es consecuencia del actual sistema de producción que ha desplazado las rotaciones cultivo-pasturas, siendo principalmente un sistema de agricultura continua.

Cuadro No. 2: Número de chacras y porcentaje de chacras según antecesor de invierno para las zafras del 2008-2011

Antecesores	No. de Chacras	Porcentaje de chacras
Colza	1	0,1
Raigrás	6	0,4
Verdeo	20	1,5
Avena	21	1,6
Cobertura	42	3,1
C. Nat.	84	6,2
Pasturas	89	6,6
Cebada	157	11,6
Trigo	243	18,0
Barb. Q	686	50,9
Total general	1349	100

De acuerdo a esta distribución sólo se trabajará sobre 10 antecesores de invierno y se le restará importancia a la colza (por tratarse de una sola chacra), avena, raigrás y verdeo, por su bajo porcentaje en el total de las chacras evaluadas.

Para el caso de los antecesores de verano, se reportaron 13 antecesores, incluidos en estos los cultivos de primera y segunda, así como en el caso del sorgo, se incluye sorgo de primera y segunda, para silo y para pastoreo. A continuación se pueden observar el número de chacras para cada antecesor de verano según el antecesor de invierno.

Cuadro No. 3: Porcentajes sobre el total de chacras (1312) de antecesores de verano según invierno

Antecesor Invierno	Antecesor Verano													Total general ²
	BQ	CN	Gs 1	Gs 2	Mz 1	Mz 2	Pradera	Sj 1	Sj2	Sg 1	Sg 2	Sg F	Sg S	
BQ	0,69		2,36	0,15	2,82			46,11		0,23		0,23	0,15	692
CN		2,52						3,81				0,08		84
Cebada	0,53			0,15		0,15			10,75		0,23	0,15		157
Cobertura			0,08		0,30			2,82						42
Pradera	0,30		0,08				2,74	3,35	0,08	0,15		0,23		91
Trigo	1,91	0,08		0,08			0,08		16,39		0,23			246
Total General¹	45	34	33	5	41	2	37	736	357	5	6	9	2	1312

BQ: Barbecho Químico; Gs: Girasol 1 y 2: Primera y segunda; Mz: Maíz 1 y 2: Primera y segunda; Sj: Soja 1 y 2: Primera y Segunda; Sg: Sorgo 1 y 2: Primera y segunda; Sg F: Sorgo Forrajero; Sg S: Sorgo Silo

¹: Corresponde al total de chacras para cada antecesor de verano sobre el total de chacras (1312)

²: Corresponde al total de chacras para cada antecesor de invierno sobre el total de chacras (1312)

En el cuadro anterior se puede ver la predominancia de la soja en el sistema agrícola, ya sea de primera o de segunda, luego de un cultivo de trigo el 87% de las chacras fueron sembradas con soja, lo mismo ocurrió cuando el antecesor de invierno fue cebada. Las rotaciones trigo-soja representaron el 16%. Del total de las chacras, independientemente del antecesor de invierno, el 83% fueron soja. De las chacras precedidas por barbecho químico, casi un 90% tuvo soja como cultivo de verano. Esto comprueba el sistema de agricultura que se está llevando a cabo en Uruguay en los últimos años, donde la soja es el principal cultivo a sembrar. Cabe destacar que un 56% de las chacras estuvieron sembradas con soja de primera, lo que implica necesariamente que no hubo cultivo de invierno anterior a la misma.

4.1.3. Cultivares

En lo que respecta a los cultivares, se reportaron un total de 34 cultivares, lo que equivaldría a 40 chacras por un cultivar. Exceptuando la zafra del 2008, para la cual se pudieron estudiar menos del 1% del total de chacras. Para la zafra del 2009 se contaron con 21 cultivares, representando 18 chacras por cultivar. En el 2010 el número de cultivares fue mayor, teniendo 11 chacras por cultivar. Para el 2011 se contaron con 25 cultivares, equivaliendo a 27 chacras por cultivar. Lo anterior demuestra la utilización de un número bastante elevado de cultivares. En las gráficas que siguen se puede observar la repetición de un alto número de cultivares en las distintas zafras. Para la realización de las mismas se tomaron los cultivares de mayor importancia en cada zafra.

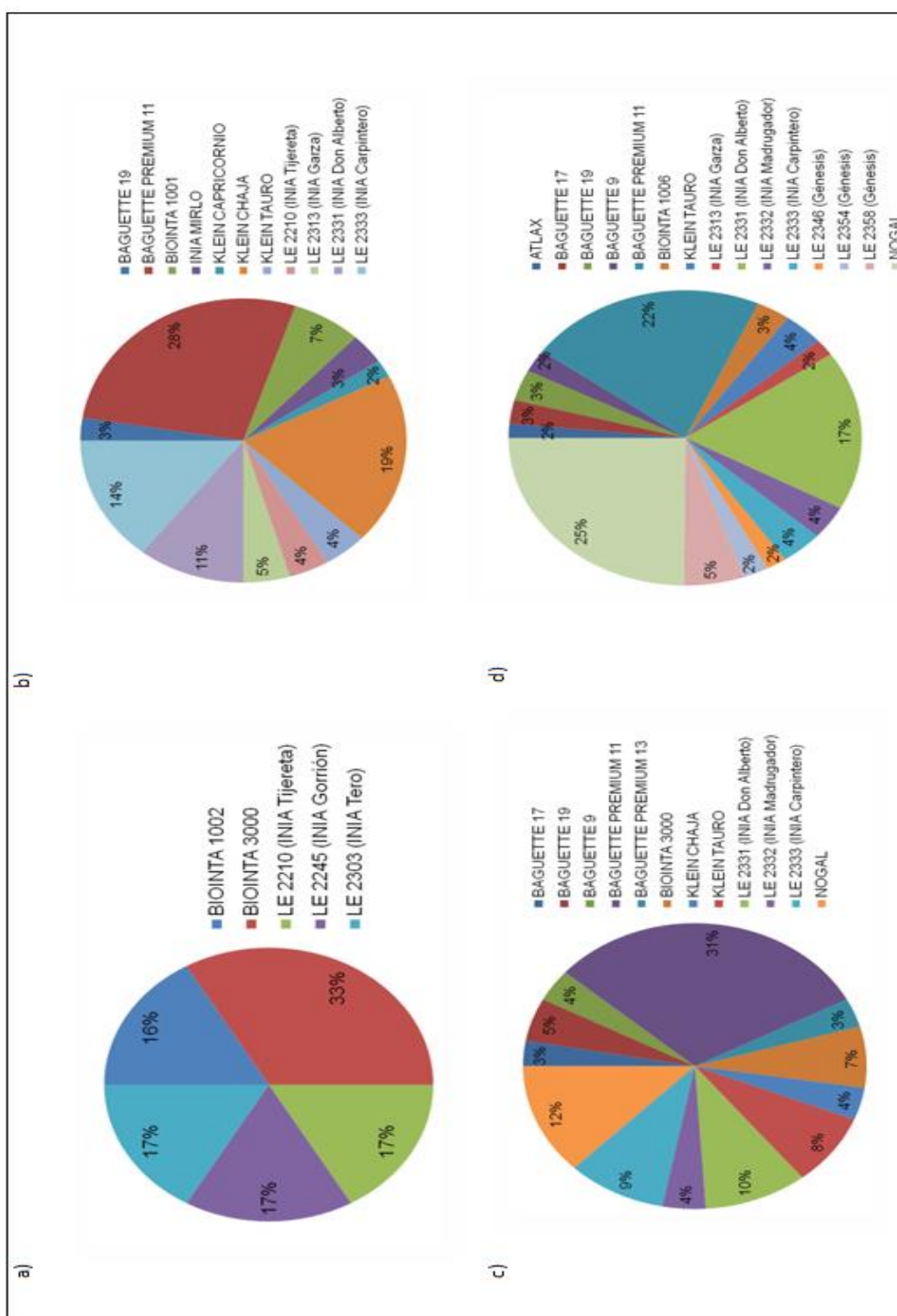


Figura No. 2: Porcentajes de los principales cultivares para las zafras a) 2008, b) 2009, c) 2010 y d) 2011

Por otra parte se evaluó el nivel de susceptibilidad de los cultivares para todas las chacras y a continuación se presentan los resultados para cada una de las zafras.

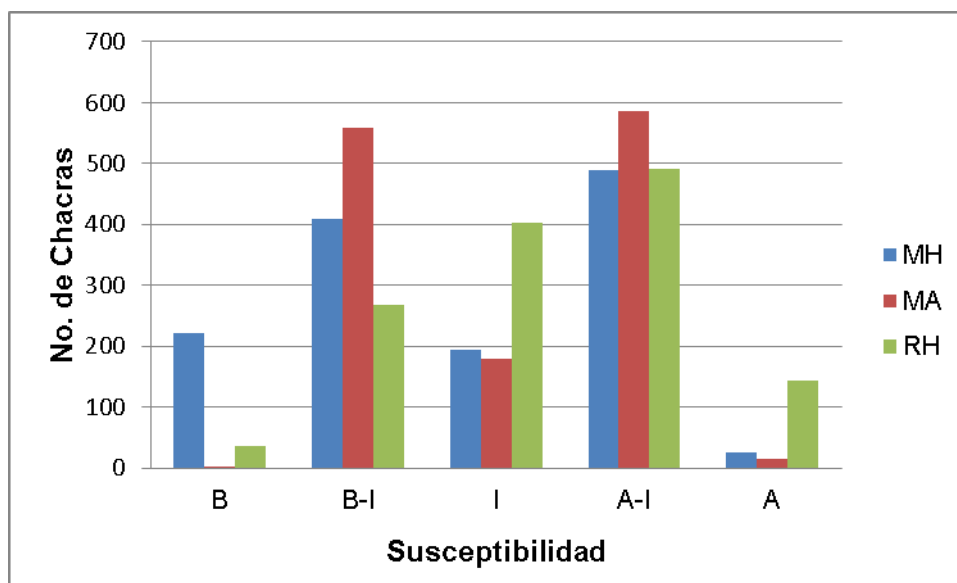


Figura No. 3: Nivel de susceptibilidad a mancha de la hoja, mancha amarilla y roya de la hoja de los cultivares sembrados en 1341 de las chacras evaluadas

En el total de las chacras, en la totalidad de las zafras evaluadas, hay un 53% de las mismas sembradas con cultivares de intermedia a alta susceptibilidad a mancha de la hoja, un 58% a mancha amarilla y un 77% a roya de la hoja, pero para la variable en estudio son más importantes la mancha amarilla y mancha de la hoja, ya que son enfermedades causadas por patógenos que pueden permanecer en el rastrojo y que dependen casi exclusivamente del manejo realizado. En las figuras siguientes se muestra el porcentaje de chacras según la susceptibilidad a las tres enfermedades ya citadas para las zafras del 2008 a 2011.

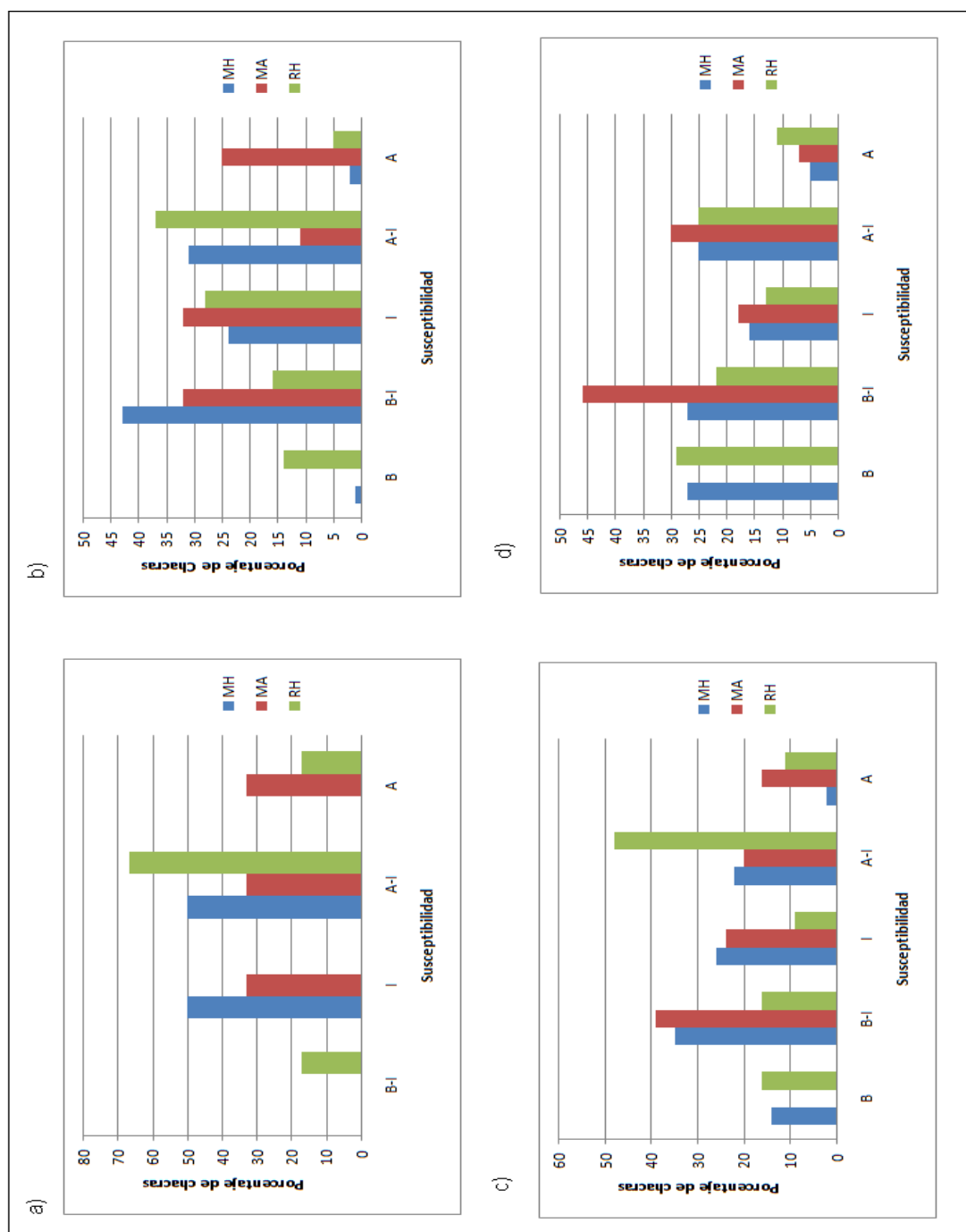


Figura No. 4: Porcentaje de chacras según susceptibilidad a mancha de la hoja (MH), mancha amarilla (MA) y roya de la hoja (RH) para las zafras a) 2008, b) 2009, c)2010 y d) 2011

Observando los gráficos anteriores se puede ver que parece haber un aumento en el uso de cultivares de B o B-I susceptible a las enfermedades citadas. Para analizar mejor los resultados del gráfico, a continuación se presenta un cuadro donde se muestra el porcentaje de cultivares susceptibles a mancha amarilla y mancha de la hoja (principales enfermedades que sobreviven en el rastrojo) y el porcentaje de estos que fue sembrado en monocultivo.

Cuadro No.4: Porcentajes de cultivares susceptibles a mancha amarilla y mancha de la hoja y porcentaje de estos en monocultivo para las zafra 2009-2011.

Enfermedad	2009		2010		2011	
	MA	MH	MA	MH	MA	MH
%Suscept. I-A	68	57	60	50	55	46
%Trigo-Trigo	31	32	18	16	10	9

No se consideró la zafra del 2008 para la conformación del cuadro porque el número de chacras representa un porcentaje muy bajo en el total de las chacras evaluadas.

Continuando con el análisis del gráfico anterior y observando el cuadro, se puede ver que ha habido una disminución del uso de cultivares susceptibles a mancha amarilla y mancha de la hoja (aproximadamente 10%). Lo más importante es que ha habido una disminución importante en el uso de cultivares susceptibles en las chacras que estaban sembradas en monocultivo, esto podría reducir las pérdidas de rendimiento por sembrar trigo sobre trigo y que además se esté sembrando con cultivares susceptibles a enfermedades que pueden sobrevivir en los rastrojos.

A continuación se puede ver el porcentaje de las chacras en trigo-trigo que fueron sembradas con cultivares de intermedia a alta susceptibilidad. Los resultados confirman lo citado anteriormente. Ha habido una disminución del uso de cultivares susceptibles a enfermedades causadas por patógenos asociados a los rastrojos en las chacras que estuvieron sembradas sobre rastrojo de trigo.

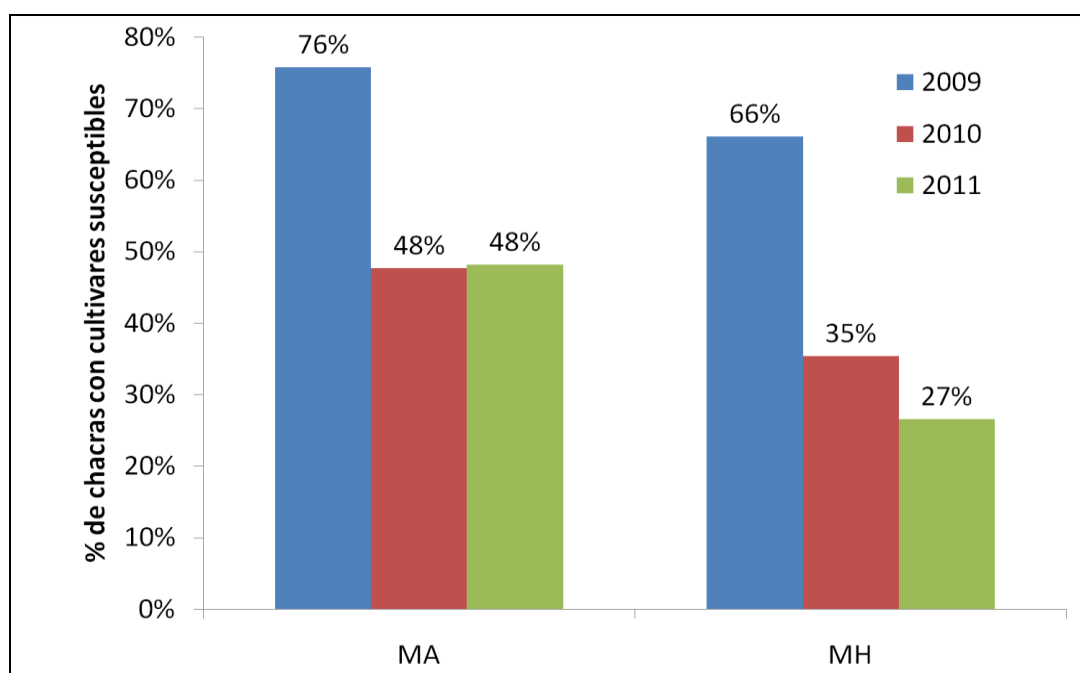


Figura No. 5: Porcentaje de chacras en trigo-trigo que fueron sembradas con cultivares susceptibles a mancha amarilla (MA) y mancha de la hoja (MH) para las zafras 2009, 2010 y 2011

Algo importante a destacar del análisis de los datos anteriores es que ese aumento en el uso de cultivares resistentes está determinado principalmente por el aumento en el uso de un solo cultivar que presenta muy buen comportamiento frente a mancha amarilla y mancha de la hoja, como lo es Nogal, la siembra con dicho cultivar aumentó de 1% en el 2009 a un 40% en el 2011 para el caso de mancha de la hoja, por su parte, para el caso de mancha amarilla, en el 2009 el 2% fue sembrado con Nogal mientras en el 2011 fue el 50%. Esto puede llegar a ser preocupante, ya que en el caso que dicho cultivar cambie su comportamiento frente a estas enfermedades, la situación podría volver a ser como en el 2009, donde un alto porcentaje de las chacras estuvo sembrado con cultivares susceptibles a enfermedades causadas por patógenos que pueden sobrevivir en los rastrojos, representando esto un problema en el caso de la siembra en monocultivo, pudiendo determinar mayores pérdidas en el rendimiento.

4.1.4. Fecha de siembra

A continuación se presenta la dinámica de fecha de siembra por chacras según la zona para cada una de las zafras estudiadas, para las cuales se contó con un total de 1354 chacras.

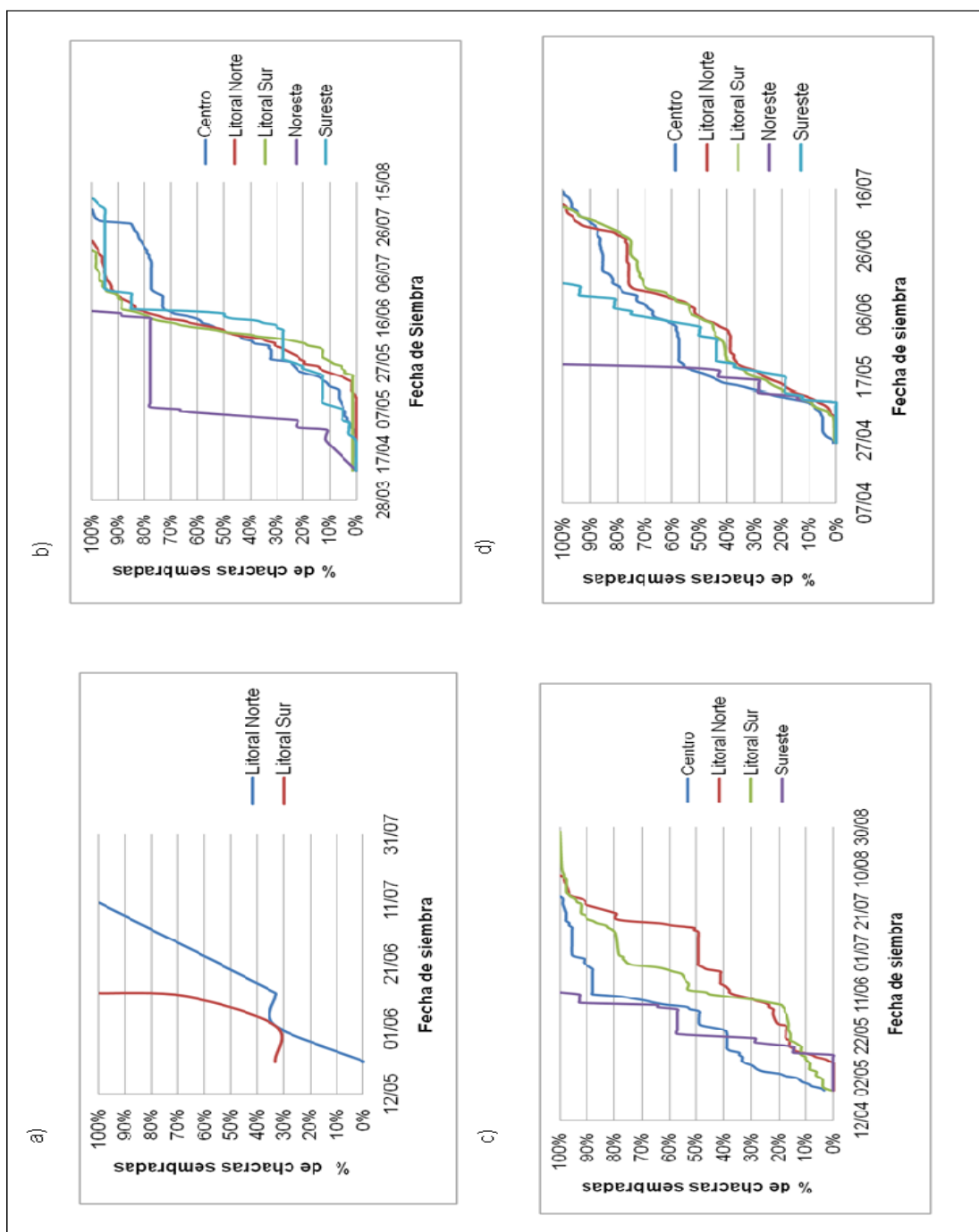


Figura No.6: Porcentaje acumulado de chacras sembradas según fecha de siembra para las zafras a) 2008, b) 2009, c) 2010 y d) 2011

Se observa que desde el 2009 al 2011 ha venido ocurriendo una disminución en la amplitud de la fecha de siembra, concentrándose más del 70% de las chacras sembradas entre mayo y junio. Según el antecesor de verano, se pudo ver que las chacras que fueron sembradas en abril provenían más del 95 % de soja de primera. Cuando el antecesor era de segunda las siembras fueron más tardías y no se observó una tendencia clara en la finalización del período de siembra según antecesor (datos no presentados).

4.1.5. Fertilización nitrogenada

Para el estudio de aplicación de nitrógeno se utilizaron 3 zafras y se eligieron los que fueron considerados como principales antecesores, tanto de invierno como de verano. Para estos casos se trabajó con alrededor de 800 chacras.

Cuadro No. 5: Días entre siembra y la primera aplicación de nitrógeno según antecesor de invierno

Antecesor Invierno	2009	2010	2011	Promedio
Barb. Q	45	57	58	55
C. Nat.	44	53	61	54
Cebada	45	56	53	52
Pradera	62	61	41	50
Trigo	50	56	44	50
Promedio	47	57	54	53

Para el caso del cuadro precedente, los días a primera aplicación de nitrógeno estuvieron entorno a los 50 días. No se puede observar una tendencia según el antecesor, lo que parece tener mayor impacto es el efecto del año. Lo mismo se puede observar en el cuadro siguiente.

Cuadro No. 6: Días entre la siembra y la primera aplicación de nitrógeno según antecesor de verano

Antecesor Verano	2009	2010	2011	Promedio
Barb. Q	29	55	45	41
C. Nat.	55		70	57
Maiz 1	46	75	62	65
Maiz 2	40			40
Pradera	64	58	48	54
Soja 1	45	55	55	53
Soja 2	50	57	47	51
Sorgo 1	50		42	46
Sorgo 2	56	48		53
Promedio	48	57	53	53

No se observa una tendencia clara en la cantidad media de nitrógeno total aplicado según antecesor de invierno para las tres zafas evaluadas (Cuadro No. 6) y verano (Cuadro No. 7)

Cuadro No. 7: Nitrógeno total agregado según antecesor de invierno

Antecesor Invierno	2009	2010	2011	Promedio
Barb. Q	80	81	94	88
C. Nat.	68	84	97	82
Cebada	76	86	91	83
Pradera	68	89	73	75
Trigo	73	79	97	80
Promedio	75	82	92	85

Cuadro No. 8: Nitrógeno total agregado según antecesor de verano

Antecesor Verano	2009	2010	2011	Promedio
Barb. Q	78	97	84	81
C. Nat.	66		84	66
Maiz 1	72	83	79	79
Maiz 2	85			85
Pradera	69	96	65	70
Soja 1	79	83	94	89
Soja 2	73	81	96	83
Sorgo 1	64		93	87
Sorgo 2	71	91	72	79
Promedio	75	83	92	86

4.1.6. Fungicidas

En lo que hace referencia a la aplicación de fungicidas, a continuación se presentan los días a la primera aplicación de fungicida, para los 9 cultivos más importantes en las zafas del 2009, 2010 y 2011. Se observa que los cultivos con mejor comportamiento sanitario frente a mancha de la hoja y mancha amarilla, como Baguette 19, Baguette 11 y Nogal, presentan en promedio mayor número de días hasta la aplicación del primer fungicida. No se visualiza un efecto claro del antecesor de invierno en el resultado de esta variable. Al igual que en el caso del nitrógeno, hay un mayor efecto del año (Cuadros No. 4 y No. 5).

Los otros cultivos que se presentan en el cuadro, con peor comportamiento sanitario frente a las ya citadas enfermedades (susceptibilidad entre intermedia y alta), requirieron la aplicación de fungicidas antes en el ciclo del cultivo.

Cuadro No. 9: Días entre la siembra y la primera aplicación de fungicida para los principales cultivares en las 3 zafras según el antecesor de invierno

Antecesor Invierno	Btte 19	Btte 11	BioINTA 1001	BioINTA 1006	Chajá	Tauro	Don Alberto	Carpintero	NOGAL	Promedio
Barb. Q	115	113	90	95	99	97	108	101	125	110
Cebada	93	107	91	95	87	84	95	98	131	100
Pradera	135	112	100				114		129	119
Trigo		120	75		113	93	114	101	114	114
Promedio	114	114	90	95	96	93	108	100	122	110

Btte 19: BAGUETTE 19; Btte 11: BAGUETTE PREMIUM 11; Chajá: KLEIN CHAJÁ; Tauro: KLEIN TAURO, Don Alberto: 2331 Carpintero: LE 2333.

Por otra parte no se observó una tendencia clara entre el número de fungicidas aplicados en un cultivo y el cultivar sembrado. Cultivares de buen comportamiento sanitario, como Nogal, presenta igual o mayor número de fungicidas aplicados que cultivares de peor comportamiento sanitario, como lo es KLEIN TAURO. De todas maneras se cuenta con menos del 50% de la base de datos con datos de aplicación de fungicidas.

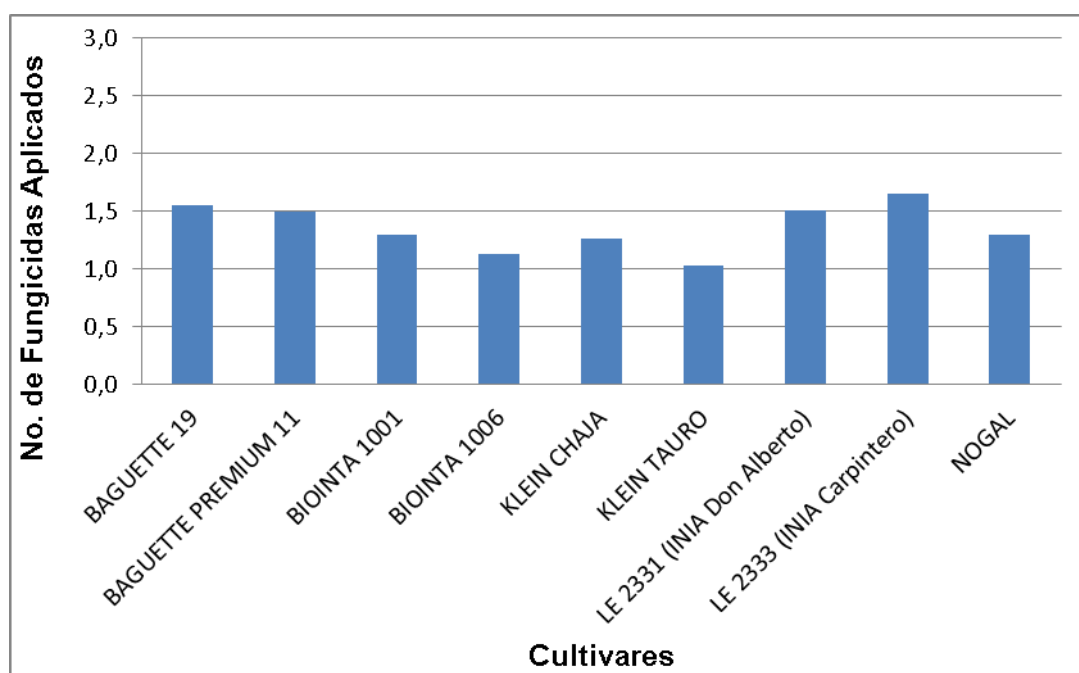


Figura No. 7: Número de fungicidas aplicados según cultivar

4.1.7. Rendimiento

En el cuadro a continuación se presenta el porcentaje de rendimiento para las zafras estudiadas por zona y según antecesor. Los valores son porcentajes del promedio general. Se presentan para las zafras del 2009-2011, ya que para la zafra del 2008 se contaba con muy pocas chacras. Se eligieron los antecesores de invierno considerados como de mayor importancia, por el efecto que pueden tener en las pérdidas de rendimiento, como es el caso de sembrar trigo sobre trigo, o de disminuir las pérdidas de rendimiento, como puede ser el caso de la siembra de trigo sobre barbecho químico. También se consideraron como importantes los antecesores que tenían un elevado número de chacras.

Cuadro No. 10: Porcentaje del rendimiento sobre el promedio general según antecesor para las zafras 2009-2011

Antecesor Invierno	Centro	Litoral Norte	Litoral Sur	Noreste	Sureste
Trigo	77%	87%	95%	85%	79%
Pradera	92%	97%	104%		126%
C. Nat.	97%	113%	80%		88%
Barb. Q	105%	104%	106%	117%	112%
Cebada	116%	94%	88%		148%
Total general	3480	3820	4025	2743	3436

Tanto para las zonas centro y litoral norte, las chacras sembradas sobre trigo fueron las que tuvieron menores rendimientos o estuvieron en el segundo lugar. En el litoral sur para las zafras 2009 y 2010 ocurrió lo mismo que en las zonas anteriores, para el año 2011 las chacras que tenían trigo como antecesor no estuvieron dentro de las peores, pero los rendimientos no fueron altos. Observando todas las zonas, se puede decir que las mayores pérdidas de rendimiento se dieron, en la mayoría de los casos, para las chacras que fueron monocultivo de trigo. En ninguna de las zonas y en ninguna de las zafras, cuando el antecesor fue trigo, se superó el promedio general.

Se puede observar que para las chacras que estaban sembradas sobre barbecho químico los rendimientos siempre superaron el 100% del promedio general para cada zona, excepto para el año 2011 en el noreste y sureste. Cuando los antecesores fueron campo natural, cebada y pradera, los rendimientos variaron, en algunos casos superaron en hasta 40% los promedios generales y en otros fue hasta 20% inferior al promedio. En estos casos no se pudo ver tendencia por zonas en las distintas zafras, ya que para un mismo antecesor en una misma zona, los rendimientos variaron notoriamente en las 3 zafras. Podría decirse que para estos tres antecesores hubo un mayor “efecto año” en los rendimientos que del propio antecesor.

4.2. ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS DE RENDIMIENTO

4.2.1. Análisis de pérdidas para chacras en monocultivo

En el gráfico que sigue se puede ver el porcentaje de pérdidas para las chacras que tuvieron trigo sobre trigo con respecto a las que tuvieron otros antecesores, para las principales zonas y para las zafras del 2009 al 2011.

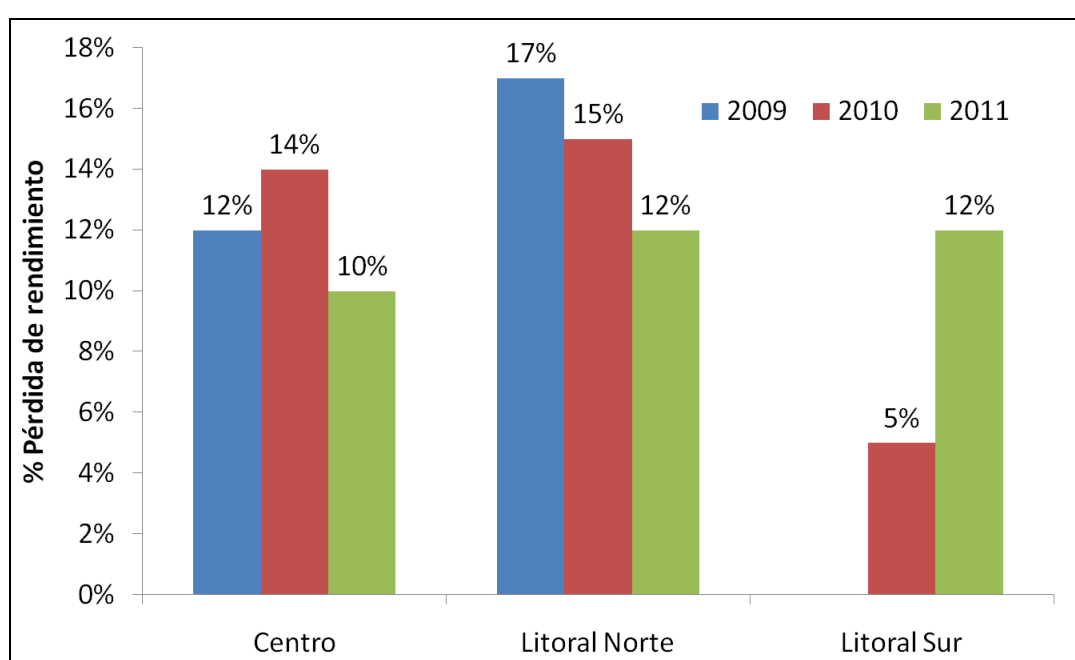


Figura No. 8: Porcentaje de pérdidas de rendimiento estimadas para las chacras en trigo-trigo con respecto a otros antecesores para las principales zonas y para las zafras del 2009 al 2011

Se puede ver que el porcentaje de pérdidas de rendimiento por siembra de trigo sobre rastrojo de trigo varían según el año, pero los porcentajes (excepto en litoral sur en el año 2010) fueron de entre un 10 y un 17%.

4.2.2. Análisis de cuartiles

Para este análisis se dividen los datos en cuartiles, en este caso 1350 datos, en cuartiles de 337 datos. Luego se evalúa el cuartil superior y el inferior, lo que equivaldría al 25% de las chacras con mejor rendimiento y

el 25% con peor rendimiento. Las chacras incluidas en el 25% superior, independientemente del año y la zona, tuvieron un rendimiento promedio de 4972 kg/ha. Las pertenecientes al grupo del 25% inferior promediaron 2467 kg/ha.

Cuadro No. 11: Resumen de análisis de pérdidas de rendimientos para los grupos 25% inferior-25% superior

Variable	25% Superior	25% Inferior
Rendimiento (kg/ha)	4972	2467
Zafra	72% 2011	37% 2009
	16% 2009	36% 2010
	12% 2010	26% 2011
Zona	50% Litoral Sur	49% Centro
	25% Centro	22% Litoral Sur
	20% Litoral Norte	18% Litoral Norte
Cultivares	Nogal (29%)	INIA Carpintero (16%)
	Baguette Premium 11 (27%)	Baguette Premium 11 (15%)
		KLEIN Chajá (13%)
		INIA Don Alberto (11%)
Comportamiento de los cultivares	31% Susceptible MH	71% Susceptible MH
	42% Susceptible MA	75% Susceptible MA
Fecha de Siembra Promedio	27 de mayo	15 de junio
Antecesor de Invierno¹	8% Trigo-Trigo	31% Trigo-Trigo
	64% Barb. Químico	40% Barb. Químico
Antecesor de Verano	76% Soja de 1era	41% Soja de 1era
Días a la primera aplicación de fungicidas	117	99
No. de Fungicidas	1,4	1,4
Días a la primera aplicación de N	53	53
No. de Aplicaciones de N	1,38	1,67
N Total Agregado (Kg/ha)	94	77

¹: El porcentaje fue calculado sobre el total de antecesores y no sobre los principales que se utilizaron en los cuadros anteriores.

Se observa que el grupo 25% superior presentó un promedio de rendimiento de casi el doble que el grupo 25% inferior. Algo muy importante a destacar del cuadro anterior es el porcentaje de chacras en monocultivo de trigo en el grupo 25% inferior, estas representaron un 31% vs un 8% en el grupo superior. Además se debe destacar el porcentaje de cultivares susceptibles a enfermedades foliares en cada uno de los grupos, el grupo que obtuvo los mejores rendimientos utilizó entre un 30 y un 40% menos cultivares susceptibles a mancha amarilla y mancha de la hoja, respectivamente, que el grupo que obtuvo los rendimientos más bajos. Probablemente a consecuencia de lo anterior los días a primera aplicación de fungicidas fueron de 18 días menos en el grupo de peores rendimientos.

Con respecto a la fecha de siembra, se puede observar que cuando los rendimientos fueron superiores, el promedio de siembra fue en mayo, mientras que en el grupo inferior la siembra se realizó principalmente en junio. Por lo tanto la fecha de siembra, junto con otras medidas de manejo, podría ser importante en definir los rendimientos a obtener.

El N total agregado fue de casi 20kg/ha menos en el caso del grupo 25% inferior. Como se puede ver hay importantes medidas de manejo que se realizan de forma distinta en uno y otro grupo. Esto muy probablemente está afectando ese menor rendimiento logrado en 25% de las chacras, donde el problema de no realizar rotaciones correctas, seguramente pueda ser de las medidas que mayor efecto tengan en la no concreción del rendimiento. Siendo no menos importante el correcto manejo de las demás variables.

Se debe destacar el alto porcentaje de chacras de la zafra 2011 presente en el grupo que obtuvo los mejores rendimientos, esto probablemente se deba a las buenas condiciones para el desarrollo del cultivo de trigo que ocurrieron en dicho año, pudiendo esto minimizar los efectos que pudo tener el manejo inadecuado de otras medidas. No obstante un 26% de las chacras del grupo 25% inferior pertenecía a la zafra mencionada, lo que demuestra que en algunos casos, a pesar de que las condiciones climáticas del año hayan sido óptimas, no se logran los mejores rendimientos.

En lo que refiere a la zona, en ambos grupos aproximadamente el 70% de las chacras estuvieron sembradas en el litoral sur y en el centro, variando el porcentaje en cada una de ellas según el grupo al que pertenecen, es decir, cuando se obtuvieron los mejores rendimientos el 50% de las chacras estaban sembradas en el litoral sur. Por otro lado, cuando se obtuvieron los rendimientos más bajos el 49% de las chacras se encontraban en el litoral sur. Lo anterior demuestra que la zona donde se ubican las chacras y la zafra “juegan” un papel muy importante en lo que refiere a la obtención de mejores rendimientos, en algunos casos puede que la chacra esté en una zona y en una zafra óptimas e igualmente se puedan lograr bajos rendimientos y viceversa, demostrando la importancia de otras medidas de manejo que son dependientes del productor, como fecha de siembra, cultivares, fertilización nitrogenada y control químico, tienen en la obtención del rendimiento.

A continuación se presenta un cuadro como el presentado anteriormente (Cuadro No. 11) pero solamente para las chacras que estuvieron sembradas sobre antecesor trigo, es decir el 8% presente en el cuartil 25% superior y el 31% presente en el cuartil inferior. Pretendiendo visualizar y definir las medidas de manejo que pudieran minimizar el efecto de la siembra de trigo sobre trigo.

Se puede ver que en general las variables coinciden con la descripción en el cuadro No. 11. Pudiendo confirmar que tanto la zona como la zafra pueden afectar la obtención del rendimiento, pero va a estar afectada por otras medidas, ya que se puede apreciar que todas las zafras y zonas están presentes, en distintos porcentajes, en ambos grupos. Por otro lado, medidas de manejo como la fecha de siembra, el cultivar (comportamiento sanitario) y fertilización nitrogenada podrían minimizar el efecto de sembrar trigo sobre trigo. En el grupo 25% superior, las chacras en monocultivo presentaron un promedio de rendimiento de 2500kg/ha superior que las del grupo 25% inferior. En el grupo de mejores rendimientos el promedio de siembra fue antes con respecto al grupo inferior. En lo que refiere a los cultivares, cuando se obtuvieron buenos rendimientos, los cultivares utilizados no presentaron susceptibilidad frente a mancha amarilla y mancha de la hoja (enfermedades causadas por patógenos que pueden sobrevivir en los rastrojos), mientras que el grupo inferior tuvo un 30% de los

cultivares susceptibles a ambas enfermedades, la elección del cultivar es una medida clave en la obtención de rendimiento, principalmente en situaciones de monocultivo, donde las enfermedades que pueden sobrevivir en los rastrojos pueden provocar importantes pérdidas en el rendimiento.

La fertilización nitrogenada afectará también la obtención de los rendimientos. Con respecto a los días hasta la primera aplicación de fungicidas es una variable que estará muy relacionada al comportamiento sanitario del cultivar, además de depender también de otras enfermedades que no sean causadas por patógenos necrótrofos.

Cuadro No. 12: Análisis comparativo de las chacras en monocultivo para los cuartiles 25% superior y 25% inferior

Variables	25% Superior	25% Inferior
Registros	26	103
Rendimiento (kg/ha)	4809	2348
Zafra	77% 2011	51% 2009
	8% 2010	30% 2010
	2% 2009	15,5% 2011
Zona	73% Lit. Sur	46% Centro
	15% Centro	22% Lit. Norte
	7% Lit. Norte	14,5% Lit. Sur
Fecha de Siembra Promedio	20 de mayo	11 de junio
Cultivares	65% Nogal	17% KLEIN Chajá
	19% Baguette Premium 11	15% Baguette Premium 11
		8% INIA Don Alberto
Comportamiento sanitario de los cultivares	Sin cultivares susceptibles	36% Susceptible a MH
		31% Susceptible a MA
Días a la primera aplicación de fungicidas	123	104
Nitrógeno Total Agregado (kg/ha)	90	76

Concluyendo el análisis de los dos cuadros presentados anteriormente, se puede ver que hay variables que van a afectar al rendimiento, como lo son la zafra y la zona pero que no son dependientes del productor. Son variables que junto con otras medidas de manejo pueden variar el efecto en el rendimiento, dependiendo de cómo se manejen dichas medidas. Por lo tanto la obtención del rendimiento y la minimización del efecto de la siembra de trigo sobre trigo van a depender de cómo se manejen dichas medidas (fecha de siembra, fertilización nitrogenada, elección del cultivar) en forma conjunta.

4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.3.1. Estimación de frontera de producción

Con el total de datos de rendimiento de las chacras y con la fecha de siembra de las mismas se realizó la siguiente gráfica. La misma muestra los máximos rendimientos obtenidos en las distintas fechas de siembra. Se ubica en la misma a las chacras que tuvieron como antecesor trigo y las que tuvieron otros antecesores. Cuando el trigo fue el antecesor, la mayoría de las chacras estuvieron por debajo de lo que fue la frontera de producción, estuvieron 40% por debajo de la misma. Si se compara con los otros antecesores, en muchos casos también estuvieron por debajo, pero en general se mantuvieron más cercanos a la frontera. Las chacras que estuvieron por debajo, obtuvieron rendimientos 30% por debajo de la frontera. A pesar de que las chacras que no tuvieron trigo como antecesor fueron muchas más que las que si lo tuvieron, los rendimientos promedios fueron 10% mejores que en el caso de las chacras en monocultivo.

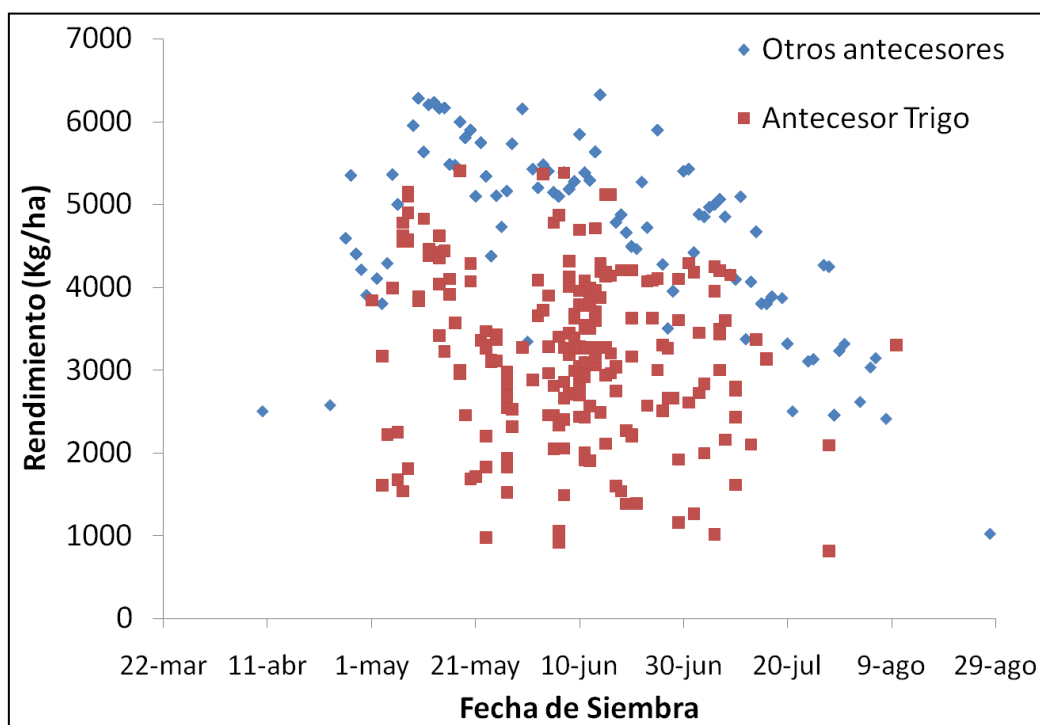


Figura No. 9: Estimación de frontera de producción para antecesor trigo y otros antecesores según la fecha de siembra

4.3.2. Análisis de frontera

Como se explicó en el punto 3.3.2. para este análisis se utilizó el programa "Frontier Analysis". A continuación se presenta un cuadro con los coeficientes obtenidos.

Cuadro No. 13: Coeficientes obtenidos en “Frontier Analysis”

Coeficientes		Error estándar	t-ratio
beta 0	-7.56	1.01	-7.48
beta 1 ¹	-0.56	0.08	-6.95
beta 2 ²	0.05	0.01	3.62
beta 3 ³	0.61	0.06	9.74
beta 4 ⁴	0.81	0.81	1.01
beta 5 ⁵	0.48	0.09	5.24
beta 6 ⁶	-0.57	0.30	-1.89
delta 1 ⁷	-0.77	0.41	-1.87
sigma-squared	1.85	0.82	2.25
gamma	0.98	0.68	1.45
log likelihood function	0.94		
LR test=	0.22		

¹: Días fuera del rango óptimo de fecha de siembra de cada variedad; ²: nitrógeno total agregado; ³: zafra; ⁴: zona; ⁵: rendimiento potencial de la variedad; ⁶: comportamiento sanitario frente a mancha de la hoja (*Septoria tritici*); ⁷: Relación antecesores invierno (trigo/no trigo)

Como principales interpretaciones del cuadro anterior se debe destacar que un aumento en el número de días que separa a la siembra de la fecha óptima de siembra de cada variedad reduce el rendimiento del cultivo. Cuando se agregó mayor cantidad de nitrógeno se obtuvo una respuesta positiva en el rendimiento del cultivo. Tanto las condiciones climáticas del año como la zona sobre la cual se encuentra sembrado el cultivo producen cambios en el rendimiento. Variedades con mayor potencial obtienen mejores rendimientos. La mancha de la hoja produce caídas en el rendimiento. Por último, el valor de delta demuestra que, cuando se siembra trigo sobre trigo se obtienen rendimientos más bajos.

4.3.3. Árbol de clasificación

Se construyeron dos “Árboles de Clasificación”, en uno se incluían a las variedades, en el otro se obviaba a esta variable. Cuando se incluyeron las variedades, esta fue la principal variable de diferenciación, manteniendo una diferencia de 789 Kg/ha los de mayor rendimiento con respecto a los de menor. En lo que respecta a los de menor rendimiento, la siguiente variable de importancia fue la zona, conformando el grupo de menor rendimiento las chacras sembradas sobre la zona noreste y centro. Las chacras sembradas sobre las otras zonas (sureste, litoral norte y litoral sur) tuvieron una diferencia de 827 Kg/ha con las anteriores. Dentro de este grupo la principal variable de importancia fue la fecha de siembra, cuando se sembró dentro de los 14 días por fuera del rango de fecha de siembra se obtuvieron los mejores rendimientos, cuando la siembra supero esos días, el rendimiento fue de 827 Kg/ha menor que el grupo anterior. En este grupo influyeron posteriormente las unidades de nitrógeno agregadas en la segunda aplicación. El grupo de mayores rendimientos, en el que se aplicaron más de 26Kg/ha de N en la segunda aplicación presentó 345 kg/ha más que el de menores rendimientos. Luego la principal división, del mejor grupo, fue por el antecesor de invierno, los que tuvieron trigo como antecesor obtuvieron **588 kg/ha** menos que los que no tuvieron monocultivo de trigo. Luego dentro de estos, vuelven a tener particular importancia la variedad y la zona, también variables de manejo como la fertilización nitrogenada y en menor medida, con una diferencia de menos de 100kg/ha, los días a la primera aplicación de fungicidas. Volviendo a la primera división, por variedad, en el grupo de mejores rendimientos, la siguiente variable de diferenciación de grupos fue el N agregado en pre-siembra y siembra, teniendo el grupo de mejores rendimientos, 454 kg/ha más que el de menores rendimientos. Cuando se agregó menos de 21,6 kg N/ha en siembra+pre-siembra, la principal variable que influyó fue la zona, obteniendo el grupo del centro y noreste 627 kg/ha menos que el grupo de los mejores rendimientos. En el peor grupo, la siguiente variable que tuvo importancia fue el número de aplicaciones de N, cuando este fue menor a 2, se obtuvieron los peores rendimientos. A éste lo afectó el antecesor de invierno, cuando fue trigo los rendimientos fueron **712 kg/ha** menos que cuando el antecesor de invierno no fue trigo. Cuando la zona fue sureste, litoral norte y litoral sur, la principal variable de importancia fue nuevamente la variedad. Cuando la aplicación de N a la siembra+pre-

siembra fue mayor a 21,6 kg/ha, la principal variable fue el N total agregado, cuando este fue menor a 95,2 kg/ha, la variable de importancia volvió a ser la zona. Cuando el N fue mayor a 95,2 kg/ha, el N total agregado continuó siendo el principal influyente.

Para visualizar mejor lo anteriormente explicado se presenta a continuación el árbol de clasificación que dio origen a los resultados anteriores, cabe destacar que este incluye los resultados principales, ya que el árbol original presenta una cantidad mayor de variables que no se podrán exponer en este trabajo.

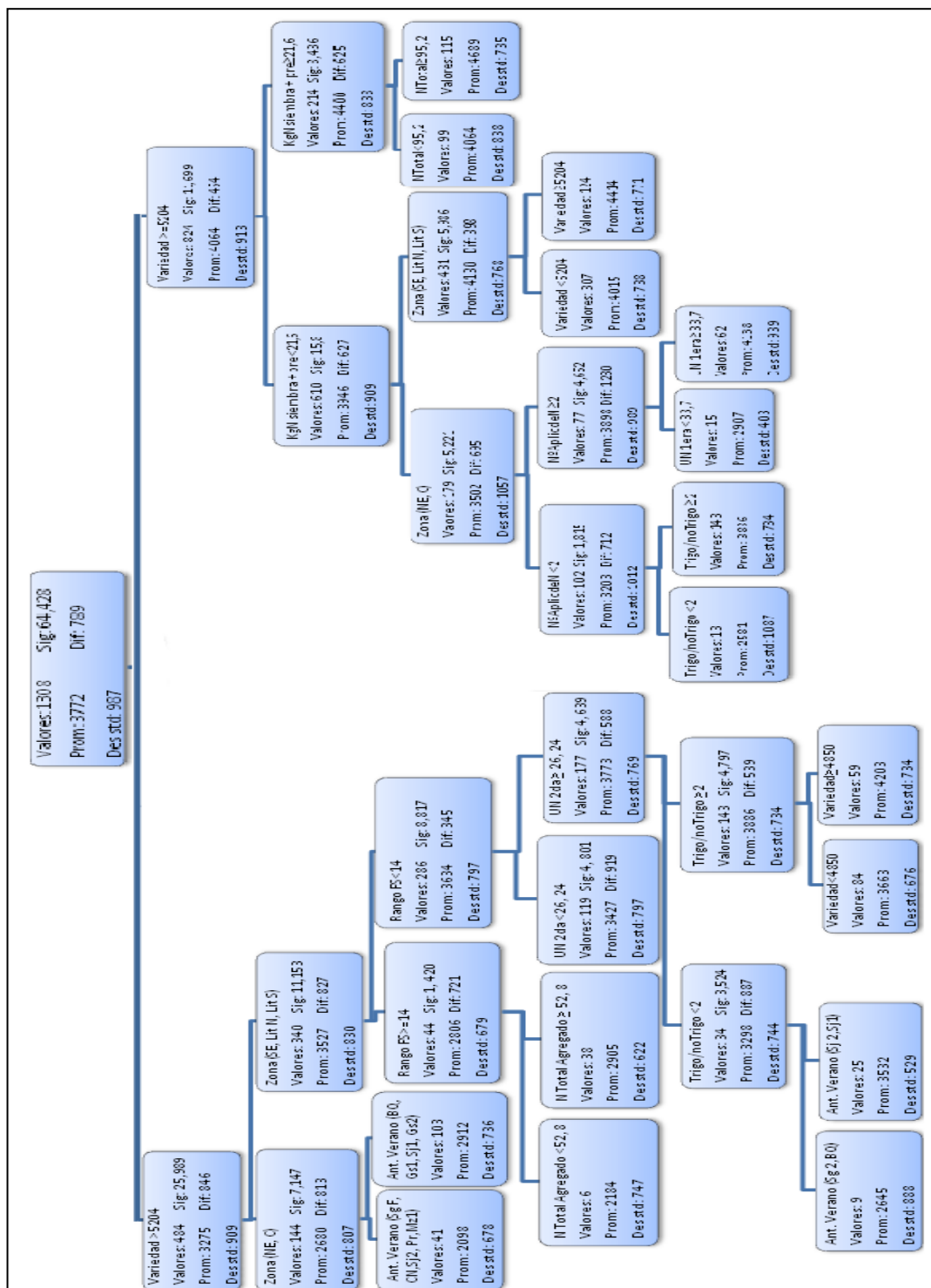


Figura No. 10: Árbol de clasificación, incluyendo a las variedades

Para el caso anterior los valores presentados fueron en rendimiento real, en el caso que se presenta a continuación, en el cual no se incluyen a las variedades en el análisis, los valores están calculados según los rendimientos en relación a la frontera de producción. Al no considerar a las variedades, la principal variable por la cual se dividieron los grupos fue la zona, por un lado las chacras del noreste, sureste y centro, presentaron los peores rendimientos, 9% menos que el grupo de las chacras sembradas sobre el litoral norte y litoral sur. El primer grupo se dividió posteriormente por la zafra, las que tuvieron los peores rendimientos estuvieron sembradas antes del 2011, esto se debió a que en dicho año las condiciones climáticas en los períodos críticos, tanto de generación como de concreción del rendimientos fueron muy cercanas a las óptimas. El grupo de las chacras sembradas en las zafras del 2008, 2009 y 2010, tuvieron rendimientos 15% por debajo que las chacras sembradas en el 2011. En el primer grupo la siguiente variable de importancia fue el antecesor, los peores rendimientos se obtuvieron cuando se realizó monocultivo de trigo, en este caso los rendimientos fueron de un **10% menor** que cuando se realizó rotación de cultivos. Volviendo a la clasificación por zona, cuando las chacras se encontraban sobre el litoral norte y litoral sur, la principal variable que afecta el rendimiento es la fecha de siembra, cuando se sembró dentro del rango óptimo de fecha de siembra los rendimientos fueron los mejores. Cuando la siembra se realizó fuera del rango óptimo, el momento en que se realizó la primera aplicación de fungicidas fue relevante. Cuando se realizó antes de los 83 días pos siembra, la variable antecesor de invierno afectó el rendimiento, por último cuando se sembró trigo sobre trigo se obtuvieron los peores rendimientos (**13% menos** que otros antecesores).

Al igual que para el caso anterior, a continuación se presenta el “árbol” que dio origen al análisis anterior.

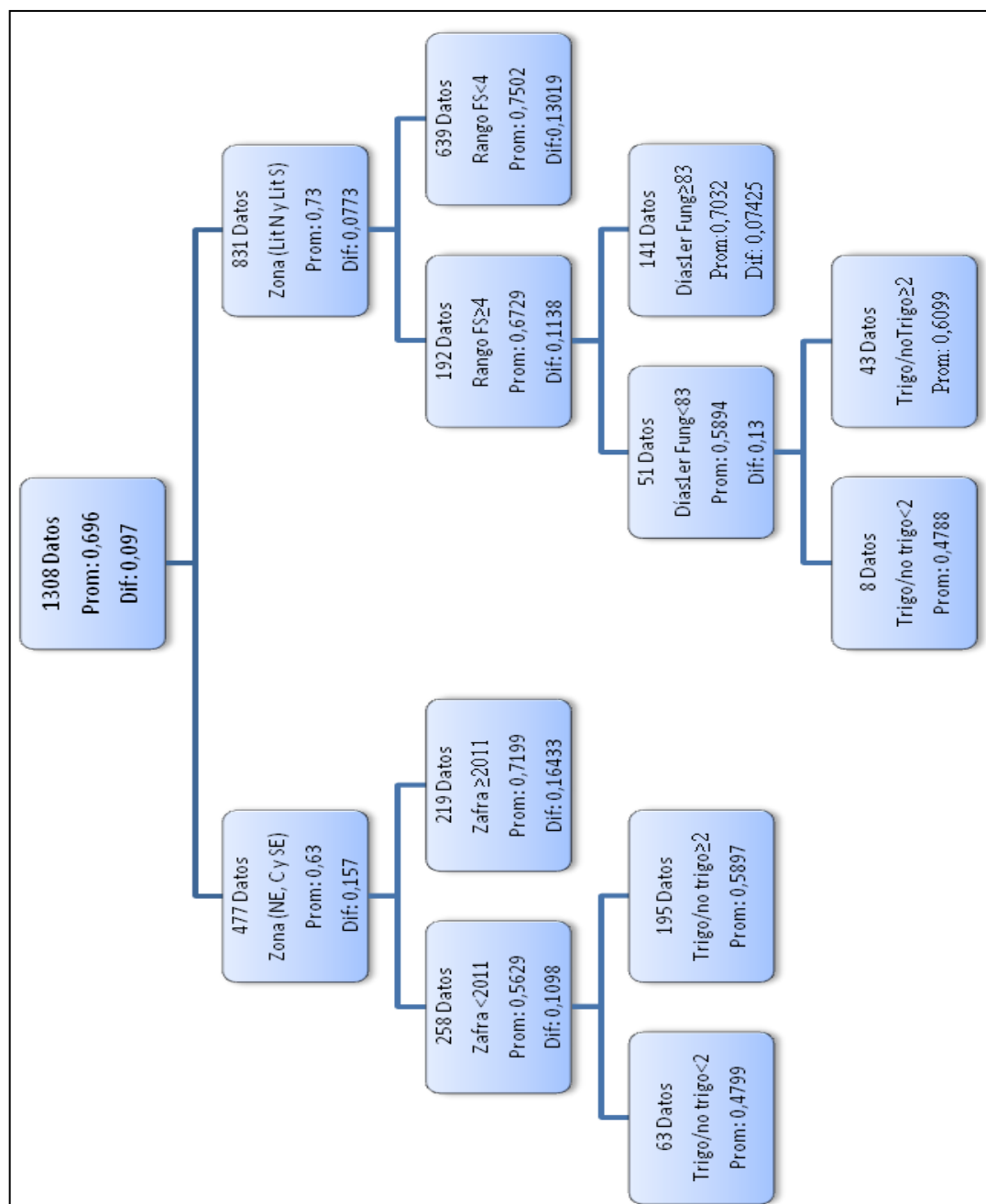


Figura No.11: Árbol de Clasificación, sin incluir variedades

Observando los dos árboles anteriores, se puede concluir que el efecto del antecesor nunca estuvo en primer lugar como principal variable en afectar el rendimiento, pero sí ocupó un lugar muy importante en lo que fueron las variables que podían afectar la obtención de rendimiento. En general si se comparan las chacras que tuvieron como antecesor trigo y las que no lo tuvieron, las diferencias en rendimiento fueron de entre 10 y 15%,

lo que demuestra lo discutido anteriormente. Además del efecto de las otras variables, existe un efecto del antecesor de invierno en la obtención del rendimiento. Visto de otra manera, hay pérdidas en el rendimiento que se atribuyen al antecesor de invierno, específicamente si se trata de monocultivo.

Analizando los dos puntos anteriores (4.2 y 4.3), se puede concluir que se rechaza la hipótesis planteada, porque las pérdidas no superaron el 17%, a pesar de que las pérdidas no son bajas no llegan al 20% como se había planteado en la hipótesis de este trabajo. Por otro lado, se pudo ver que las chacras que estuvieron en monocultivo estuvieron la mayoría dentro del grupo de los rendimientos más bajos, pero hubo un 8% de las mismas que se encontró dentro de los mejores rendimientos, lo que hace pensar que medidas de manejo dependientes del productor, como la elección de cultivares con buen comportamiento sanitario frente a enfermedades que pueden sobrevivir en el rastrojo, una correcta fertilización nitrogenada y la siembra dentro de las fechas óptimas para el cultivar pueden contrarrestar el efecto del monocultivo o por lo menos reducirlo. Cabe destacar que variables como la zona y la zafra también influyen de una forma muy importante en la obtención del rendimiento, como se vio en los análisis de los resultados demostrados anteriormente, pero estos no son variables manejables por el productor.

5. CONCLUSIONES

Las pérdidas de rendimiento por monocultivo de trigo se mantienen superando el 10%. Este valor puede variar dependiendo de las condiciones climáticas del año.

Cuando se realizó el análisis de cuartiles se pudo comprobar que la zona y la zafra pueden afectar la obtención de rendimientos máximos. No obstante, cuando se usaron cultivares de mejor comportamiento sanitario, se realizaron rotaciones correctas (sin monocultivo de trigo) y se fertilizó con más nitrógeno, los rendimientos obtenidos estuvieron dentro de los mejores. Cuando se usaron cultivares de mejor comportamiento sanitario, la primera aplicación de fungicidas se realizó más tarde en el ciclo del cultivo, esto probablemente asociado también al menor porcentaje de trigo en monocultivo.

El grupo de mejores rendimientos no tuvo un porcentaje tan alto de chacras en monocultivo como el estrato inferior, pero igualmente hubo un 8% de las chacras que sí estuvieron sembradas sobre trigo. Demostrando que existen medidas de manejo que utilizan los productores, como la fecha de siembra, la fertilización y la elección de cultivares de buen comportamiento frente a enfermedades causadas por patógenos que pueden sobrevivir en los rastrojos, que pueden minimizar el efecto del monocultivo, logrando rendimientos superiores a los 4000 kg/ha.

En la estimación de la frontera de producción se obtuvo como resultado que en términos medios las chacras en monocultivo se encontraron 40% por debajo de la frontera.

En el análisis de frontera, realizado con el programa "Frontier Analysis" también se obtuvo como conclusión que la siembra de trigo sobre trigo trae aparejado pérdidas en el rendimiento. Se deben destacar los otros resultados, donde la fecha de siembra, la fertilización nitrogenada, el cultivar elegido, la influencia de enfermedades, afectaran de forma positiva o negativa la obtención del rendimiento. Estas medidas son totalmente dependientes del productor. La zona y la zafra también afectan la obtención del rendimiento pero son variables no manejables.

De los análisis de los “Árboles de Clasificación” se concluye que el cultivar es la variable más importante, le sigue la zona y la zafra. Pero como lo demostraron los análisis anteriores, la siembra de trigo sobre trigo, la correcta elección de la fecha de siembra, así como la correcta fertilización nitrogenada, son variables muy importantes en la obtención de mejores rendimientos. Para los dos árboles, cuando se comparaban las chacras sembradas en monocultivo con las que tuvieron otros antecesores, la diferencia en rendimiento en general superó el 10%.

Como conclusión general se vio claramente que la siembra de trigo sobre trigo influye de manera muy importante en la pérdida de rendimiento. Pero hay otras variables de manejo, que no son menos importantes que la rotación, que también juegan un papel importante en la obtención de mejores rendimientos. La siembra en fecha, la correcta fertilización nitrogenada, la correcta elección del cultivar. Son medidas que se deben tener en cuenta para mejorar los rendimientos.

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada en este trabajo, ya que las pérdidas por monocultivo no llegaron al 20% y como se comprobó, existen medidas de manejo que pueden reducir las pérdidas causadas por el monocultivo de trigo.

6. RESUMEN

En el país, el trigo es el principal cultivo de invierno. El mismo ha tenido aumentos importantes en los últimos años, llegando a mantenerse en el entorno de las 500.000 ha, mientras el cultivo de cebada se encuentra en el entorno de las 110.000 ha. Esto, junto con los cambios organizacionales en las empresas, ha determinado que una importante área de trigo se siembre sobre rastrojo del mismo cultivo, teniendo como consecuencia la pérdida de rendimiento, debido principalmente a la mayor influencia de enfermedades que pueden sobrevivir en los rastrojos. Este trabajo tiene como principales objetivos estimar las pérdidas de rendimiento por la siembra de cultivos de trigo sobre antecesores del mismo e identificar medidas de manejo que estén siendo aplicadas por los productores y que permitan minimizar las pérdidas. Para la realización del mismo se contaron con registros de chacras de 5 zafras de productores CREA y a partir de estos se conformó una base de datos sobre la cual se trabajó. A partir de ésta se estudió la influencia que cada una de las variables que la conformaron pudiera tener sobre el rendimiento. Se realizaron análisis de las pérdidas de rendimiento y análisis estadísticos. En este último se realizó una estimación de la frontera de producción, un análisis de frontera con el programa "Frontier Analysis" y se conformaron "Árboles de Clasificación". Todos los análisis mencionados anteriormente coinciden en sus resultados, donde se pudo observar que la siembra de trigo sobre trigo influye de manera negativa en la obtención del rendimiento con pérdidas en el entorno del 10-15% o 40% por debajo de la frontera de producción. A su vez como es de esperar, esta no es la única variable que influye en el rendimiento, ya que variables independientes, como la zona y la zafra, afectarán de forma importante. Pero además, el correcto manejo de la fecha de siembra, así como la fertilización nitrogenada y la elección del cultivar, "jugaran" un papel muy importante en lo que son los rendimientos logrados. Por esto se rechaza la hipótesis planteada, donde se decía que la siembra de monocultivo de trigo genera pérdidas de rendimiento entorno al 20% y no existen medidas de manejo que permitan disminuirlas, ya que las pérdidas se mantuvieron en el entorno del 10% y se comprobó que con un manejo adecuado de otras variables se pueden obtener rendimientos no tan bajos.

Palabras clave: Trigo; Rendimiento; Pérdidas.

7. SUMMARY

In the country, wheat is the main winter crop. It has had substantial increases in recent years, is in the surroundings of the 500,000 ha and while barley is in the setting of the 110,000 has. This, with the organizational changes in companies, has been determined that an important area of wheat will sow over the wheat residues, resulting in loss of performance, mainly due to the increased influence of diseases that can survive in the stubble. This work aims the estimate yield loss for crops of wheat on predecessors of the same and identify management measures that are being implemented by producers and allowing minimizing losses. To achieve the same were counted with records of 5 harvests of CREA producers and was constructed a database on which worked. From this was studied the influence of each of the variables that may have formed on performance. The loss of yield analysis and statistical analysis were carried out. The latter made an estimate of the production frontier, frontier analysis with the "Frontier Analysis" program and formed "Classification Trees". All the analyses mentioned above coincide in its results, where it was observed that sowing of wheat on wheat adversely affects yield, this is not the only variable that influences performance, because independent variable, such as the area and the harvest variables, affected significantly. In addition, the planting date, nitrogen fertilization and cultivar choice, "play" an important role in the yields achieved. By this hypothesis is rejected, which said that planting wheat monoculture yield losses generates around 20% and there are no management measures that allow diminish, as losses remained at around 10% and found that with proper management of other variables are not as low yields.

Key words: Wheat; Yield; Losses.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ANGUS, W.J.; FENWICK, P.M. 2008 Using genetic resistance to combat pest and disease threats. In: Arable Cropping in a Changing Climate, Home Grown Cereals Authority (HGCA) Conference (2008, London). Proceedings. London, s.e. pp. 21-27.
2. BOCKUS, W.W.; CLAASSEN, M.M. 1992. Effects of crop rotation and residue management practices on severity of tan spot of winter wheat. *Plant Disease*. 76 (6): 633-636.
3. CIUFFETTI, L.M.; TUORI, R.P. 1999. Advances in the characterization of the *Pyrenophora tritici-repentis* wheat Interaction. *Phytopathology*. 89 (6):444-449.
4. COLBACH, N.; LUCAS, P.; MEYNARD, J.M. 1997 Influence of crop management on take-all development and disease cycles on winter wheat. *Phytopathology*. 87 (1): 26-32.
5. COOK, R.J.; BOOSALIS, M.G.; DOUPNIK, B. 1978. Influence of crop residue on plant diseases. In: Oschwald, W.R. ed. Crop residue management systems. Madison, American Society of Agronomy. pp. 147-165.
6. _____. 2003. Take-all of wheat. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 62 (2): 73-86.
7. CORDO, C.A.; SIMÓN, M.R.; CHIDICHIMO, H.O.; FERNÁNDEZ, L.; KRIPELZ, N.I. 2005. Mineralización de los residuos de trigo provenientes de distintos sistemas de labranza: Efecto sobre la pérdida de peso y dinámica del nitrógeno. In: Congreso Latinoamericano de Fitopatología (13º, 2005, Córdoba). Trabajos presentados. Córdoba, s.e. p.irr.
8. DÍAZ DE ACKERMANN, M. 1996. Control químico de enfermedades en trigo. Montevideo, INIA. 24 p. (Boletín de Divulgación no. 62).

9. _____. 2011a. Mancha parda o amarilla del trigo. *In*: Pereyra, S.; Díaz de Ackermann, M.; German, S.; Cabrera, K. eds. Manejo de enfermedades en trigo y cebada. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 95-110 (Serie Técnica no. 189).
10. _____. 2011b. Septoriosis del trigo. *In*: Pereyra, S.; Díaz de Ackermann, M.; German, S.; Cabrera, K. eds. Manejo de enfermedades en trigo y cebada. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 75-94 (Serie Técnica no. 189).
11. DUCZEK, L.J.; SUTHERLAND, K.A.; REED, S.L.; BAILEY, K.L.; LAFOND, G.P. 1999. Survival of leaf spot pathogens on crop residues of wheat and barley in Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 21 (2):165-173.
12. ELEN, O. 2002. Plant protection in spring cereal production with reduced tillage. III. Cereal diseases. *Crop Protection*. 21 (3): 195-201.
13. GARCÍA-PRECHAC, F.; ERNST, O.; SIRI-PRIETO, G.; TERRA, J. A. 2004. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. *Soil and Tillage Research*. 77 (1):1-13.
14. JOSEPH-HORNE, T.; HEPPNER, C.; HEADRICK, J.; HOLLOMON, D.W. 2000. Identification and characterization of the mode of action of MON 65500; a novel inhibitor of ATP export from mitochondria of the wheat 'take-all' fungus, *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 67 (3): 168-186.
15. KUMAR, J.; SCHAFFER, P.; HUCKELHOVEN, R.; LANGEN, G.; BALTRUSCHAT, H.; STEIN, E.; NAGARAJAN, S.; KOGEL, K.H. 2002. *Bipolaris sorokiniana*, a cereal pathogen of global concern; cytological and molecular approaches towards better control. *Molecular Plant Pathology*. 3 (4): 185-195.
16. LEBRETON, L.; LUCAS, P.; DUGAS, F.; GUILLERM, A-Y.; SCHOENY, A.; SARNIGUET, A. 2004. Changes in population structure of the soilborne fungus *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* during

- continuous wheat cropping. *Environmental Microbiology*. 6 (11): 1174-1185.
17. PALMER, C-L.; SKINNER, W. 2002. *Mycosphaerella graminicola*: latent infection, crop devastation and genomics. *Molecular Plant Pathology*. 3 (2): 63-70.
 18. PEREYRA, S.; DÍAZ DE ACKERMANN, M. 2011a. Herramientas para el manejo de enfermedades en trigo. *In*: Jornadas de Divulgación Aportes a la Zafra de Cultivos de Invierno (2011, Durazno, Uruguay). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 23-31 (Actividades de Difusión no. 646).
 19. _____.; DÍAZ DE ACKERMANN, M.; GERMAN, S.; CABRERA, K. 2011b. Manejo de enfermedades en trigo y cebada. Montevideo, INIA. 197 p. (Serie Técnica no. 189).
 20. PÉREZ, C.A.; CARAMESO, L.; FROS, D.; CADENAZZI, M.; ERNST, O. 2009. Manejo sanitario en sistemas sin laboreo: agrónomos o nutricionistas? *In*: Simposio de Agricultura de secano (1º, 2009, Paysandú). Libro de resúmenes. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 141-160.
 21. _____.; VILLAR, A. 2011a. Control biológico en cultivos extensivos: cuando el enfoque condiciona al éxito. *In*: Pereyra, S.; Díaz de Ackermann, M.; German, S.; Cabrera, K. Manejo de enfermedades en trigo y cebada. Montevideo, Uruguay, INIA. pp. 49-62 (Serie Técnica no. 189).
 22. _____.; HOFFMAN, E.; VIEGA, L.; VILLAR, A.; ERNST, O. 2011b. Manejo de enfermedades en sistemas agrícolas; mitos y realidades. *In*: Simposio de Agricultura de Secano (3º., 2011, Paysandú). Libro de resúmenes. Paysandú, Facultad de Agronomía. p. irr.
 23. PRIDHAM, J.C.; ENTZ, M.H. 2008. Intercropping spring wheat with cereal grains, legumes, and oilseeds fails to improve productivity

under organic management. *Agronomy Journal*. 100 (5): 1436-1442.

24. REIS, E.M.; SANTOS, H.P. dos; LHAMBY, J.C.B. 1983 Rotação de culturas. I. Efeitos sobre doenças radiculares do trigo nos anos 1981 e 1982. *Fitopatologia Brasileira*. 8 (3): 431-437.
25. _____. 1992. Potencialidade de controle de doenças de trigo e da cevada por rotação de culturas. *Investigaciones Agronómicas*. 1 (2): 177-187.
26. _____.; SANTOS, H.P. dos. 1993. Interações entre doenças de cereais de inverno e sistema de plantio direto. *In*: Seminário Internacional do Sistema Plantio Direto (1o., 1993, Passo Fundo). Resúmenes. Passo Fundo, Editorial Aldeia Norte. pp.105-110.
27. _____.; KOHLI, M.M. 1994. Wheat diseases in South America and strategies for their control. *In*: Regional Wheat Workshop for Eastern, Central and Southern Africa Conference (8th., 1993, Kampala, Uganda). Proceedings. Addis Adebba (Ethiopia), CIMMYT. pp. 153-163.
28. SANTOS, H.P. dos; REIS, E.M.; LHAMBY, J.C.B.; WOBETO, C. 1996. Efeito da rotação de culturas sobre o trigo, em sistema plantio direto, em Guarapuava, PR. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* (Brasília). 31 (4): 259-267.
29. _____.; LHAMBY, J.C.B.; PRESTES, A.M.; REIS, E.M. 1998. Características agronômicas e controle de doenças radiculares de trigo, em rotação com outras culturas de inverno. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 33 (3): 277-288.
30. SCHIATTINO, I.; SILVA, C. 2008. Árboles de clasificación y regresión; modelos Cart. *Ciencia y Trabajo*. 10 (30): 161-166.
31. SCHILDER, A.M.; BERGSTROM, G.C. 1992. The dispersal of conidia and ascospores of *Pyrenophora tritici-repentis*. *In*: International

Tan Spot Workshop (2nd., 1992, North Dakota). Proceedings. North Dakota, University Fargo. pp. 96-99.

32. SCHOENY, A.; LUCAS, P. 1999. Modelling of take-all epidemics to evaluate the efficacy of a new-seed treatment fungicide on wheat. *Phytopathology*. 89 (10): 954-961.
33. SHANER, G. 1981. Effect of environment on fungal leaf blights of small grains. *Annual Review of Phytopathology*. 19 (1): 273-296.
34. SIMÓN, M.R.; AYALA, F.; GOLIK, S.; TERRILE, I.; CORDO, C.; PERELLÓ, A.; MORENO, V.; CHIDICHIMO, H. 2011. Integrated foliar disease management to prevent yield loss in Argentinian wheat production. *Agronomy Journal*. 103 (5): 1441-1451.
35. STEWART, S.; PEREYRA, S.; DÍAZ DE ACKERMANN, M. 2001. Manchas foliares de trigo y cebada en siembra directa. (en línea). Montevideo, INIA. s.p. (Documento on-line no. 36). Consultado 15 ene. 2013 Disponible en: <http://www.inia.org.uy/online/site/publicacion-ver.php?id=698>
36. _____.; _____.; _____. 2004. El efecto de la intensificación agrícola en las enfermedades de los cultivos. *In*: Simposio Sustentabilidad de la Intensificación Agrícola en el Uruguay (2004, Mercedes). Resúmenes. Montevideo, INIA. pp. 19-24 (Actividades de Difusión no. 365)
37. STURZ, A.V.; BERNIER, C.C. 1989 Influence of crop rotations on winter wheat growth and yield in relation to the dynamics of pathogenic crown and root rot fungal complexes. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 11 (1): 114-121.
38. UTERMARCK, M. 1995. Sobrevivencia de *Drechslera teres* en el rastrojo de cebada. *In*: Reunión Nacional de Investigaciones de Cebada (6a., 1995, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, LATU. pp. 52-53.

39. WENZ, M.; RUSSELL, P. E.; LÖCHEL, A. M.; BUSCHHAUS, H.; EVANS, P. H.; BARDSLEY, E.; PETIT, F.; PUHL, T. 1998. Seed treatment with fluquinconazole for control of cereal take-all, foliar and seed borne diseases in 1998. In: International Conference Brighton Crop Protection Conference: Pests and Diseases (3rd., 1998, Brighton). Proceedings. Brighton, British Crop Protection Council. pp. 907-912.