

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RESPUESTA VEGETAL AL CONTROL QUIMICO DE ROYA
DE LA HOJA EN DOS CULTIVARES DE TRIGO DE
COMPORTAMIENTO CONTRASTANTE-I

por

Maria Paula CARABALLO VERGARA

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

MONTEVIDEO

URUGUAY

2011

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Carlos Pérez

Ing. Agr. Esteban Hoffman

Ing. Agr. Luis Viega

Fecha:

2 de setiembre de 2011

Autor:

María Paula Caraballo Vergara

AGRADECIMIENTOS

A mis padres les doy las gracias, por ser mi sostén durante mis años de vida, por darme la oportunidad de formarme como profesional y por su apoyo durante la carrera.

A mis familiares y amigos por el apoyo incondicional que recibí y por estar conmigo a lo largo de mi formación.

Al Ing. Agr. Carlos Pérez, por su apoyo, colaboración e incondicional disposición a formarme como profesional y por la alegría recibida durante mi trabajo de tesis.

Al Ing. Agr. Esteban Hoffman, por su disposición a evacuar dudas y por su ayuda a formarme como profesional.

Al Ing. Agr. Luis Viega, por darme la oportunidad de realizar mis primeros trabajos en Facultad de Agronomía, y por su incondicional disposición a ayudarme a formarme como profesional, desde mis comienzos de la carrera.

A Darío Fros y al Ing. Agr. Andrés Villar, por su ayuda durante mi trabajo de tesis.

A todas aquellas personas dentro de Facultad de Agronomía y a todos mis compañeros que hicieron de mí, una nueva profesional.

Desde ya, les agradezco enormemente a todas aquellas personas que estuvieron cerca de mí durante mi carrera por su colaboración para conmigo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	2
2.1 IMPORTANCIA DE LA PRODUCCION DE TRIGO EN URUGUAY	2
2.2 FISIOLOGIA DEL RENDIMIENTO DEL TRIGO	4
2.3 PROBLEMAS SANITARIOS EN EL CULTIVO DE TRIGO E IMPORTANCIA ESPECÍFICA DE LA ROYA	6
2.3.1 <u>Efectos sobre el rendimiento</u>	6
2.4 BIOLOGIA DE LA ROYA	7
2.4.1 <u>Etiología, taxonomía y morfología</u>	7
2.4.2 <u>Sintomatología</u>	9
2.5 EPIDEMIOLOGIA. CICLO DE LA ENFERMEDAD	10
2.6 CONTROL DE LA ENFERMEDAD	13
2.6.1 <u>Control cultural</u>	13
2.6.2 <u>Control genético</u>	13
2.6.3 <u>Control químico</u>	15
2.7 EFECTOS FISIOLÓGICOS EN LA PLANTA HUESPED INFECTADA ...	19
2.7.1 <u>Efectos de los fungicidas sobre la fisiología de la planta</u>	23
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	24
3.1 <u>DESCRIPCION DEL EXPERIMENTO</u>	24
3.1.1 <u>Ubicación</u>	24
3.1.2 <u>Manejo del cultivo</u>	24
3.1.3 <u>Tratamientos evaluados</u>	25
3.1.3.1 Descripción de los tratamientos	26
3.1.3.2 Nivel crítico según cultivar y fungicida	26
3.1.4 <u>Diseño experimental</u>	28
3.2 CARACTERISTICAS DE LOS CULTIVARES UTILIZADOS	30
3.3 FUNGICIDAS	31
3.4 MOMENTO DE APLICACIÓN DE FUNGICIDAS	31
3.5 DETERMINACIONES	32

3.5.1 <u>Fenología</u>	32
3.5.2 <u>Población y macollaje</u>	32
3.5.3 <u>Evolución de la enfermedad</u>	32
3.5.4 <u>Biomasa aérea</u>	33
3.5.5 <u>Índice de verde</u>	33
3.5.6 <u>Madurez fisiológica</u>	34
3.5.7 <u>Componentes del rendimiento</u>	34
3.5.8 <u>Parámetros de calidad</u>	34
3.5.8.1 <u>Peso hectolítrico (PH)</u>	34
3.6 <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	34
4. <u>RESULTADOS</u>	35
4.1 <u>CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO</u>	35
4.2 <u>EVOLUCIÓN DE LA SEVERIDAD DE ROYA DE LA HOJA</u>	37
4.3. <u>CRECIMIENTO DEL CULTIVO</u>	44
4.3.1 <u>Producción de biomasa aérea (en materia seca)</u>	44
4.3.2 <u>Número de hojas</u>	46
4.3.3 <u>Índice de verde</u>	48
4.3.3 <u>Ciclo del cultivo</u>	50
4.3.4 <u>Índice de cosecha</u>	50
4.4 <u>RENDIMIENTO EN GRANO Y SUS COMPONENTES</u>	51
4.4.1 <u>Componentes de rendimiento</u>	54
4.4.1.1 <u>Numero de granos/m2 (NG/m2)</u>	54
4.4.1.2 <u>Peso de grano (PMG)</u>	56
4.5 <u>CALIDAD</u>	60
4.5.1 <u>Peso hectolítrico</u>	60
5. <u>DISCUSION</u>	62
6. <u>CONCLUSIONES</u>	70
7. <u>RESUMEN</u>	71
8. <u>SUMMARY</u>	72
9. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	73
10. <u>ANEXOS</u>	80

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Evolución del rendimiento promedio, superficie sembrada, producción a nivel nacional y precio unitario del cultivo de trigo.	3
2. Clasificación taxonómica de <i>puccinia triticina</i> erikson.....	8
3. Análisis de suelo (0-20 cm) para nitrógeno y fosforo y ajuste de la fertilización para el cultivo de trigo.....	25
4. Descripción de los tratamientos evaluados en el experimento	26
5. Nivel crítico según cultivar y fungicida evaluados en el experimento.....	28
6. Rendimiento en grano, comportamiento frente a roya de la hoja y largo de ciclo de los cultivares evaluados en el experimento.	30
7. Nombre comercial, composición y dosis recomendada de los fungicidas utilizados en el experimento.	31
8. Momentos de aplicación de fungicidas según estadio fenológico del cultivo (según escala zadoks) y días pos siembra (dps).....	31
9. Resultado de la probabilidad ($pr > f$) del efecto cultivar, fungicida, momento de aplicación y sus interacciones según lectura sanitaria efectuada (días pos siembra) para la variable severidad de roya de la hoja	37
10. Severidad de roya de la hoja promedio según momento de aplicación de fungicidas para cada cultivar evaluado en el rango de estadios fenológicos z 73-80 y z 78-85.....	42
11. Número de hojas promedio por tallo según momento de aplicación y fungicida en los estadios fenológicos z 73 y z 78 en Baguette 9.....	47

12. Índice de verde (iv) según cultivar evaluado y estrato del canopeo en los estadios fenológicos z 70 y z 75 para Baguette 9 y Atlax respectivamente.	47
13. Índice de verde del cultivo según estrato evaluado y momento de aplicación de fungicidas en el estadio fenológico z 70 de Baguette 9 y z 75 de Atlax.	49
14. Índice de verde (iv) en el estrato inferior del cultivo según cultivar evaluado y momento de aplicación de fungicidas en el estadio fenológico z 70 de Baguette 9 y z 75 de Atlax.	49
15. Índice de verde (iv) del cultivo según estrato evaluado y momento de aplicación de fungicidas en el estadio fenológico z 73 de Baguette 9 y z 80 de Atlax.	50
16. Largo de ciclo según cultivar evaluado.	50
17. Resultado de la probabilidad ($pr > f$) del efecto cultivar, fungicida, momento de aplicación y sus interacciones para la variable rendimiento en grano (kg/ha).	51
18. Rendimiento en grano según momento de aplicación y fungicida para baguette 9.	52
19. Rendimiento en grano según momento de aplicación y fungicida para Atlax.	52
20. Numero de granos/m ² según fungicida y momento de aplicación de fungicidas para Baguette 9 y Atlax.	55
21. Peso de grano según fungicida y momento de aplicación de fungicidas para Baguette 9 y Atlax.	57
22. Tipo de infección de los cultivares evaluados frente a 12 razas de <i>puccinia triticina</i> .	62

Figura No.

1. Temperatura media para el año 2009 en relación al promedio 2000-2008 en EEMAC, Paysandú. Uruguay.....	35
2. Precipitaciones promedio para el año 2009 en relación al promedio 2000-2008 en EEMC, Paysandu.Uruguay.....	36
3. Evolución de la severidad de roya de la hoja promedio de los tratamientos testigos de cada cultivar evaluado.....	38
4. Evolución de la severidad de roya de la hoja según tratamiento en el cultivar Baguette 9.	39
5. Evolución de la severidad de la roya de la hoja según tratamiento en el cultivar Atlax.....	41
6. Evolución de la severidad de roya de la hoja según momento de aplicación de fungicidas.....	41
7. Cantidad de enfermedad a lo largo del ciclo del cultivo (estimada como área ubicada debajo de la curva de progreso de la enfermedad) según momento de aplicación y fungicida para Baguette 9.	43
8. Cantidad de enfermedad a lo largo del ciclo del cultivo (estimada como area ubicada debajo de la curva de progreso de la enfermedad) según momento de aplicación y fungicida para Atlax.....	44
9. Producción de materia seca a z 30, z 65 y cosecha según momento de aplicación y fungicida evaluados en Baguette 9.	45
10. Producción de materia seca a z 30, z 65 y cosecha según momento de aplicación y fungicida evaluados en Atlax.	45
11. Evolución del número de hojas vivas por tallo según momento de aplicación y fungicida en Baguette 9..	45

12. Evolución del número de hojas vivas por tallo según momento de aplicación y fungicida en Atlax..	47
13. Relación entre el nivel de severidad final de roya de la hoja y el rendimiento en grano de todos los tratamientos y sus repeticiones para Baguette 9 y Atlax.	53
14. Relación entre la cantidad de enfermedad (estimada como audpc) y rendimiento de todos los tratamientos y sus repeticiones para Baguette 9 y Atlax.	54
15. Relación entre el número de granos por unidad de superficie (m ²) y rendimiento de todos los tratamientos y sus repeticiones para Baguette 9 y atlax.	56
16. Relación entre el peso de mil granos (pmg) y el rendimiento de todos los tratamientos y sus repeticiones para Baguette 9 y Atlax.	56
17. Relación entre nivel de severidad observado de roya de la hoja a mitad de llenado de grano y el peso de mil granos (pmg) de todos los tratamientos y sus repeticiones para Baguette 9 y Atlax.....	59
18. Relación entre la capacidad fotosintética del estrato superior del cultivo (estimado a través de un índice de verde) en el estadio fenológico z 70 de Baguette 9 y z 75 de Atlax y el peso de mil granos (pmg).....	60
19. Peso hectolítrico promedio según aplicación de fungicidas y cultivar evaluado.....	61
20. Frecuencia de razas de <i>Puccinia triticina</i> en Uruguay para el año 2009.	63

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de trigo es la principal alternativa disponible para la agricultura invernal en Uruguay (Godiño et al., 2004), expandiéndose significativamente en términos de superficie sembrada a lo largo de la última década, debido a un incremento considerable de su rendimiento promedio a nivel país y al precio unitario del grano (Sáez, 2009).

En Uruguay, desde siempre, la producción de trigo y sus subproductos se han destinado al mercado interno, pero desde el decenio de 1990 se ha manifestado una tendencia cada vez mayor a las exportaciones lo cual constituye una importante fuente de ingreso al país (Godiño et al., 2004).

Sin embargo, la producción y calidad del grano de trigo se han visto comprometidos por diversos problemas sanitarios entre los cuales la roya de la hoja, causada por el hongo *Puccinia triticina*, es considerada una de las principales enfermedades que afectan al cultivo de trigo, por su alta frecuencia de ocurrencia, niveles epidémicos logrados y daños que ocasiona (Pereyra y Díaz de Ackerman 2007, Viero 2008).

El uso de cultivares con resistencia constituye la principal alternativa de manejo para la enfermedad (Pereyra y Díaz de Ackerman, 2007). Sin embargo, en Uruguay existe un alto porcentaje de área sembrada con cultivares de trigo de comportamiento intermedio a susceptible frente a roya de la hoja (German et al., 2010). Una vez instalado el cultivo, la única medida de manejo disponible para reducir las pérdidas en rendimiento ocasionadas por la enfermedad, es el control químico con fungicidas.

Hipótesis principal: la respuesta vegetal al control químico de roya de la hoja y el momento de la intervención dependen de la resistencia genética de cada cultivar.

El objetivo de este trabajo es estudiar la respuesta vegetal al control químico de roya de la hoja en dos cultivares de trigo de comportamiento contrastante para optimizar el uso de fungicidas. Se estudió el momento de aplicación de dos productos fungicidas y su efecto sobre variables asociadas a la fisiología y el rendimiento del cultivo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTANCIA DE LA PRODUCCIÓN DE TRIGO EN URUGUAY

El trigo es el principal alimento a nivel mundial, con una producción de aproximadamente 580 millones de toneladas en 220 millones de hectáreas con un promedio de 2,66 toneladas/ha. (Paulsen y Shroyer, 2004).

En Uruguay, junto con la cebada, el trigo constituye la principal alternativa para la agricultura invernal (Godiño et al., 2004).

Tomando como año base el 2000, la superficie sembrada fue el indicador de la producción nacional de trigo que mostró una importante variación, desde 92% a 426% en el último año evaluado. Es a partir del año 2007, que el área sembrada aumentó considerablemente, alcanzando valores de aproximadamente 550000 hectáreas en la zafra agrícola 2009, aproximadamente 5 veces la superficie sembrada en el año base (2000). Sin embargo, la variabilidad del rendimiento promedio no fue tan notoria. La producción del cultivo ha sufrido un aumento significativo a nivel nacional, multiplicándose por 5 veces en la última zafra, tomando como base 100 la producción del año 2000, siguiendo la misma tendencia que la del área sembrada a nivel país (Cuadro No. 1).

Dicho aumento en la producción se debió además, por la respuesta positiva de los productores agrícolas, a la disponibilidad de la información nacional e internacional del precio unitario para su cosecha (Sáez, 2009). En este sentido, el cultivo presentó una tasa de incremento en su precio del 14,6% promedio a lo largo de la década, siendo éste el mayor incremento observado a nivel de los cultivos de secano sembrados en el país.

Cuadro No. 1: Evolución del rendimiento promedio, superficie sembrada, producción a nivel nacional y precio unitario del cultivo de trigo.

Zafra	Rendimiento (Kg/ha)	Superficie (miles ha)	Producción (tt x 10²)	Precio (U\$S/tt)
2000	2534	125	3244	100
2001	1149	125	1436	107
2002	1501	137	2058	64
2003	2769	118	3260	130
2004	2970	180	5326	128
2005	2958	154	4541	121
2006	3160	193	6112	140
2007	2842	245	6971	226
2008	2853	476	13566	350
2009	3336	546	18213	

Fuente: Sáez (2009), URUGUAY. MGAP. DIEA (2011).

Según Godiño et al. (2004), el crecimiento observado se ha ido sustentando en un proceso de cambio tecnológico, caracterizado por un mayor uso de insumos, la introducción de nuevas variedades, la rotación con pasturas, el aumento de los equipos agrícolas y la adopción creciente de la “siembra directa”.

Según Sáez (2009) en términos de producción bruta y a precios constantes, respecto al año base (2000), la agricultura en Uruguay fue el sector que creció más intensamente al año 2007, con un crecimiento del orden del 54%. Dentro de este crecimiento se destacan los cultivos de trigo, cebada, soja y maíz.

El fuerte crecimiento de la producción de trigo en Uruguay causó un cambio radical en el mercado de granos (Vázquez, 2010), siendo el principal destino el mercado interno (algo más de 400.000 toneladas) con importaciones en los años en que hay déficit y exportaciones en los años en que hay superávit (Souto, citado por Vázquez, 2009).

Datos extraídos de Sáez (2009), muestran que el grano de trigo en la última década se exportó en forma intermitente, mientras que el trigo procesado en forma de harina se exportó todos los años.

Considerando lo antes mencionado, la creciente demanda nacional y mundial por alimentos y una serie de ventajas agronómicas de su producción respecto a otros cultivos, es de absoluta importancia tener en cuenta dicho cultivo en los sistemas de producción agrícola nacional.

2.2 FISIOLÓGÍA DEL RENDIMIENTO DEL TRIGO

Utilizando un modelo simple, el rendimiento del cultivo de trigo puede expresarse a través de la cantidad de biomasa generada y la proporción de ésta que es particionada a los órganos reproductivos (Carretero et al., 2007). La producción de biomasa, por su parte, puede explicarse a partir de: (i) la fracción de la radiación solar incidente que es interceptada por el cultivo (f_{int}), y (ii) la capacidad del cultivo de convertir la radiación interceptada en biomasa (Eficiencia de Uso de la Radiación = EUR). La f_{int} es función del índice de área foliar ($IAF = \text{cm}^2$ de hoja por cada cm^2 de suelo) y de la arquitectura del canopeo (Evans, Gardner, Johnson, citados por Carretero et al. 2007, Serrago et al. 2009).

Por otra parte, se puede expresar como el producto entre número de granos por unidad de superficie (NG/m^2) y el peso de mil granos (PG), siendo el primero, el principal determinante del rendimiento y el que presenta correlación más alta con el rendimiento (Abbate et al., citados por Solis et al. 2004, Milisich et al. 2007, Serrago et al. 2009).

El NG/m^2 se determina durante el período crítico de crecimiento de las espigas (PCE), comprendido entre unos 20 días antes de la antesis, hasta 10 días después de la misma (exercción de anteras en el 50% de las plantas) (Abbate et al., citados por Milisich et al., 2007). Este período se considera crítico

ya que es el momento del ciclo del cultivo en el cual se establece el número de flores fértiles, y por lo tanto el número de granos (Serrago et al., 2009).

Lo expresado anteriormente indica que no todas las etapas por las que transcurre el cultivo tienen la misma importancia relativa en la generación del rendimiento, dado que ciertos órganos son más importantes que otros en relación a la construcción del rendimiento (Miralles y Slafer, citados por Carretero et al., 2007).

Según Milisich et al. (2007) el inicio del período crítico coincide con el estadio fenológico de 2-3 nudos (encañazón - estadio 32-33 escala de Zadoks et al., citados por Milisich et al., 2007).

Durante esta etapa, una mayor partición de asimilados hacia la espiga se traducirá en un mayor número de granos al momento de la cosecha. En este sentido, que la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) durante el PCE es un excelente indicador de los fotoasimilados que son asignados a la espiga y está altamente relacionada con la supervivencia de los granos en formación (Caviglia y Melchiori, citados por Milisich et al., 2007).

Diversos trabajos han confirmado que la TCC durante el PCE está directamente relacionada con la proporción de la radiación solar incidente que es capaz de interceptar el cultivo (Fischer, Abbate et al., Caviglia y Melchiori, citados por Milisich et al., 2007). Por lo tanto, es de suma importancia mantener adecuados niveles de área foliar sana y funcional, permitiendo así una mayor disponibilidad y partición de fotoasimilados hacia las espigas y por lo tanto un mayor número de granos (Fischer, Miralles et al., citados por Carretero et al., 2007). De este modo, cultivares sembrados en fechas tempranas generan un mayor número de hojas y macollos que garantizan la estructura suficiente para una alta interceptación de la radiación. Sin embargo cultivares de ciclo corto sembrados tardíamente sufren una temprana inducción a la floración, resultando en una menor cantidad de estructuras vegetativas que muchas veces no permiten lograr el 95% de la interceptación de la radiación al inicio del PCE (Milisich et al., 2007), por tanto, menor TCC y como consecuencia menor número de granos.

Por otra parte, además de lo mencionado anteriormente, Osorio y Wendt (1995), indican que existe una estrecha asociación entre rendimiento de

grano y la duración del periodo de actividad del área fotosintéticamente activa durante la fase de llenado de granos. Para Borojevic, citado por Osorio y Wendt (1995), esto es explicado porque, al igual que el prolongamiento del ciclo vegetativo tiende a aumentar la producción de biomasa, el aumento del periodo de llenado de granos permite un mayor llenado.

2.3 PROBLEMAS SANITARIOS EN EL CULTIVO DE TRIGO E IMPORTANCIA ESPECÍFICA DE LA ROYA

Las enfermedades que cobran mayor importancia por los daños que causan en el cultivo de trigo son: oídio causado por *Blumeria graminis*, mancha marrón causada por *Bipolaris sorokiniana*, mancha amarilla causada por *Drechslera tritici-repentis*, fusariosis de la espiga causada por *Fusarium graminearum* y las royas del tallo y de la hoja, causadas por *Puccinia graminis* f.sp. *tritici* y *Puccinia triticina* respectivamente (Picinini y Fernandes, citados por Arduim, 2009).

Dentro de este grupo, la roya de la hoja de trigo es considerada una de las principales enfermedades que afecta anualmente al cultivo de trigo y es responsable de los importantes daños en rendimiento y calidad de granos tanto a nivel nacional como mundial (German 2007, Viero 2008). Esto es explicado por su amplia difusión en la región triguera, alta frecuencia de aparición, nivel epidémico moderado a alto y un efecto moderado a severo sobre los rendimientos (Annone, citado por Formento et al., 2007a). Los altos niveles de variación de la virulencia y la amplia adaptación a las diversas condiciones climáticas donde se cultiva trigo, son características de *P. triticina* que contribuyen a las pérdidas regulares de rendimiento en la producción mundial de trigo (Roelfs et al. 1992, Kolmer, citado por Bolton 2008).

2.3.1 Efectos sobre el rendimiento

Según Roelfs et al. (1992), las pérdidas en rendimiento causadas por *P. triticina* rondan entre el 10 y el 30% del potencial del cultivo. Sin embargo, Germán (2007) reporta que la presencia de abundante inóculo primario determina que las epidemias pueden comenzar temprano y alcanzar niveles importantes, provocando pérdidas de rendimiento superiores al 50%, en cultivares susceptibles si no se utiliza control químico. Por su parte, Pereyra y

Díaz de Ackerman (2007), indican que esta enfermedad puede provocar pérdidas de grano desde 32-36% y en peso de grano de 0-16%.

Experimentos llevados a cabo en México por Leyva Mir et al. (2003), mostraron pérdidas de rendimiento de 17% por infecciones de roya de la hoja en trigo, variando desde 5% de disminución en cultivares resistentes y hasta 25% en cultivares susceptibles. Los autores indican que infecciones tempranas en estado de plántula, pueden causar la muerte del cultivo.

Desde otro punto de vista, Formento y de Souza (2007b) indican que, la importancia de las pérdidas depende de la severidad y la duración de la infección.

La severidad de la enfermedad es una variable patométrica, que expresa el porcentaje de área foliar afectada, siendo afectada por factores climáticos, la presión de inóculo y la variedad de trigo (Mc Mullen y Rasmussen, citados por Formento y de Souza, 2007b).

Diversos autores concuerdan en que los menores rendimientos son consecuencia de una reducción en el área fotosintética (Roelfs et al. 1992, Leyva-Mir et al. 2003), que resulta en una reducción de la biomasa, índice de cosecha, granos/m² y PMG (Roelfs et al., 1992). Se ha encontrado que el PMG tiene una relación fuertemente negativa con el nivel de severidad ($r^2 = 0,886$) (Formento y de Souza, 2007b).

2.4 BIOLOGÍA DE LA ROYA

2.4.1 Etiología, taxonomía y morfología

La roya de la hoja fue distinguida de las otras royas de trigo por De Candolle y en 1815 la denominó *Uredo rubigo-vera* (Roelfs et al. 1992, Bolton et al. 2008, Arduim 2009). En el año 1894, estudios realizados por Eriksson y Henning, llevaron a describir como *Puccinia dispersa* el agente causal de la roya del trigo y el centeno (Roelfs et al., 1992).

Cinco años más tarde, en el año 1899, Eriksson observó que el agente causal de la roya de la hoja de trigo no era la misma que la del centeno y la denominó *Puccinia triticina* (Eriksson, citado por Roelfs et al. 1992, Samborsky,

citado por Viero 2008). Así, hasta el año 1956, el nombre del patógeno sufrió varias alteraciones, hasta que en este mismo año, Cummins y Caldwell sugirieron que la denominación de la roya de la hoja de gramíneas fuera *Puccinia recondita* (Cummins y Candwell, citados por Roelfs et al. 1992, Bolton et al. 2008, Samborsky, citado por Arduim 2009).

Esta especie se subdividió en formas especiales, en base a la gama de huéspedes, siendo denominado el patógeno causante de la roya de la hoja de trigo *P. recondita* f. sp.*tritici* (Wilson y Henderson, citados por Bolton et al., 2008).

Más tarde, estudios morfológicos de esporas realizados por Savile (1984), genéticos y morfológicos realizados por Anikster et al. (1997) y análisis fitogenéticos de secuencias de ADN ribosomal conducidos por Zambino y Szabo, citados por Bolton et al. (2008), demostraron que *P. recondita* es el agente causal de la roya de la hoja del centeno y *P. triticina* Erikson el agente causal de la roya de la hoja de trigo común (*Triticum aestivum* L) o trigo duro (*Triticum turgidum* L.var.*duro*) (Pires 2007, Singh et al., citados por Bolton 2008, Arduim 2009).

Cuadro No. 2: Clasificación taxonómica de *Puccinia triticina* Erikson.

Reino	Fungi
Phylum o Subdivisión	Basidiomycota
Clase	Urediniomycetes
Orden	Uredinales
Familia	Pucciniaceae
Género	Puccinia
Especie	Triticina

Fuente: Bolton et al. (2008)

Puccinia triticina es heteroico y por tanto requiere de dos hospederos distintos botánicamente, uno en el cual desarrolla la fase telial/uredinal (siendo generalmente trigo) y un huésped alternativo en su fase pycnial/aecial para completar su ciclo de vida (Bolton et al. 2008, Reis, citado por Viero 2008). La falta de hospederos alternativos adecuados, sugiere que el ciclo sexual no contribuye a la propagación de la enfermedad en términos epidemiológicos y es una fuente insignificante de variación genética de *P. triticina*, tanto en América del Norte, como en América del Sur y Australia en donde es producido el trigo (Kolmer, citado por Bolton et al., 2008).

La enfermedad es caracterizada por la etapa uredinal.

Inicialmente surgen pequeños uredinios (pústulas) que miden hasta 1,5 mm de diámetro, de forma ovoide y de color naranja-marrón y/o amarillo-anaranjadas. Éstos se ubican tanto en la parte superior de las plantas, como en la superficie de las hojas inferiores de su huésped (Bolton et al. 2008, Reis y Wiese, citados por Viero 2008).

Dichas estructuras producen las urediniosporas, las cuales se caracterizan morfológicamente por ser de forma sub globosas, presentando un diámetro de 15 a 30 μm (Reis, citado por Arduim, 2009), promediando las 20 μm (Bolton et al., 2008).

Por otra parte es importante destacar que el hongo es macrocíclico, es decir, presenta tanto ciclo sexual como asexual, en los cuales son producidas 5 tipos de estructuras fructíferas, con 5 tipos diferentes de esporas morfológica y funcionalmente: espermagonio (espermacios e hifas receptoras); ecidio (ecidiosporas); uredo (urediniosporas, producidas en el ciclo asexual y únicas infectivas al trigo en Uruguay); telio (teliosporas, estructuras de resistencia no funcionales un Uruguay), y basidio (basidiosporas, formadas en el promicelio de teliosporas) (Reis y Wiese, citados por Arduim, 2009).

2.4.2 Sintomatología

La roya de la hoja puede manifestarse desde la aparición de las primeras hojas hasta próximo a la maduración de las plantas (Carmona 2008, Reis, citado por Arduim 2009). Según Roelfs et al. (1992), se presenta en las láminas de las hojas, pero las vainas también pueden ser infectadas cuando las

condiciones son favorables, la densidad de inóculo es elevada y el cultivar es altamente susceptible.

Después del establecimiento de las relaciones parasitarias, surgen pequeños uredinios redondeados con urediniosporas de color amarilla-anaranjado, dispuestas sin orden, localizadas preferentemente en la cara superior de las hojas (Carmona 2008, Reis, citado por Arduim 2009). Las pústulas (uredinios), corresponden a los cuerpos fructíferos que producen los propágulos del hongo (urediniosporas) (Germán, 2007).

Dependiendo del grado de resistencia del cultivar, los síntomas son diferentes. En variedades altamente susceptibles, aparecen grandes uredinios, sin causar clorosis o necrosis en los tejidos de la planta. Sin embargo, las variedades resistentes se caracterizan por presentar uredinios de menor tamaño y de estar rodeados éstos de zonas cloróticas y/o necróticas (Bolton et al., 2008).

Hacia el fin del ciclo, las pústulas frecuentemente adquieren color negro por la producción de teliosporas que no infectan a los cereales, en donde se producen basidioporas, las cuales son capaces de infectar únicamente al huésped alternativo que lo constituyen diversas especies del género *Thalictrum*. Al no estar presente este género en Uruguay estas esporas pierden viabilidad interrumpiéndose de esta forma el ciclo sexual (Germán, 2007).

2.5 EPIDEMIOLOGÍA. CICLO DE LA ENFERMEDAD

Debido a que *Puccinia triticina* es un patógeno biotrófico (solo se alimenta de tejido vivo), su sobrevivencia depende de la presencia de plantas voluntarias susceptibles (considerado generalmente “puente verde”) de trigo durante el verano y otoño, constituyendo así la fuente de inóculo primario (Roelfs et al. 1992, Germán 2007, Reis, citado por Arduim 2009). Además, el inóculo puede provenir también de hospederos alternativos del patógeno, en donde el mismo es capaz de sobrevivir produciendo sus gametos sexuales. Han sido reportados por diversos autores una amplia gama de hospederos alternos, pertenecientes a las familias Ranunculaceae y Boraginaceae, además de varias especies de *Thalictrum* spp, *Anchusa* y *Clematis* e *Isopyrum fumaroides* pueden ser también huéspedes alternativos, aunque rara vez funcionan como tales en América del Sur, América del Norte y Australia (Roelfs et al., 1992).

El inóculo secundario es generado durante la estación del cultivo, en donde el patógeno se reproduce asexualmente, logrando cumplir varios ciclos de infección; por esto se dice que es una enfermedad policíclica (Germán, 2007).

Según Germán (2007) el inóculo primario en forma de urediniosporas es diseminado mediante corrientes de aire a cientos de kilómetros, moviéndose dentro de la zona epidemiológica constituida por Uruguay, Argentina, Brasil, Paraguay y zonas bajas de Bolivia. En presencia de condiciones climáticas favorables y cultivares susceptibles, las epidemias pueden progresar rápidamente, además del alto potencial de producción de inóculo del patógeno que puede producir hasta 3000 esporas/ uredinio (Roelfs et al. 1992, Carmona 2008).

Cuando variedades de trigo susceptibles son sembradas en épocas normales de la estación de crecimiento del cultivo y ocurre la deposición de urediniosporas sobre los tejidos verdes de las plantas, puede ocurrir la infección, siempre y cuando sean satisfechos los requerimientos térmicos y de horas de agua libre sobre las hojas para que las esporas germinen, penetren y establezcan el parasitismo (Reis, citado por Arduim, 2009). La deposición de las esporas puede ocurrir directamente por impactos de esporas suspendidas en el aire, o también puede ser favorecida por lluvias calmas, de baja intensidad que caen arrastrando las esporas que estaban suspendidas en el aire y son depositadas por la lluvia directamente en el follaje (Carmona, 2008). Cabe destacar que las precipitaciones fuertes suelen retardar el desarrollo de la enfermedad, por lavar las esporas que al mojarse germinan sobre el suelo. Por el contrario las esporas sobreviven durante semanas si permanecen secas (Germán, 2007).

Para que las esporas germinen son necesarios periodos entre cuatro a ocho horas de agua libre sobre los tejidos susceptibles, los cuales son comúnmente satisfechos a través del rocío, aunque la neblina y la lluvia también propician el mojado de los tejidos. Según Germán (2007), el patógeno requiere 6 o más horas de agua libre sobre la superficie del follaje para infectar. A su vez se requieren temperaturas entre 15-25° C (Roelfs et al. 1992, Leyva Mir et al. 2003, Wiese, citado por Viero 2008).

Luego de satisfechos los requerimientos para la germinación, el tubo germinal de la espora se desarrolla a lo largo de la superficie de la hoja hasta encontrar un estoma, en donde el patógeno forma un apresorio, seguido de un gancho de penetración y una vesícula subestomática a partir de la cual crecen las hifas primarias. Una vez acontecido este proceso la célula madre del haustorio se fija contra la célula del mesófilo, produciéndose la penetración directa y la formación del haustorio dentro de la célula viva del hospedero (Roelfs et al., 1992).

Cuando la reacción patógeno-planta huésped es incompatible, el haustorio no se desarrolla o lo hace a tasas menores debido a que la célula hospedante muere, por tanto, no existe sustrato vivo para el hongo, dando una respuesta de posible resistencia (Roelfs et al. 1992, Rowell, citado por Pires 2007). Mientras que cuando la reacción es compatible, en los lugares de penetración (estomas), surgen nuevos uredinios con la formación de urediniosporas, cerrando el ciclo primario de la enfermedad (Reis, citado por Arduim, 2009).

El periodo entre la germinación y la esporulación abarca entre 7 a 10 días cuando las condiciones son óptimas y constantes, pero con temperaturas menores de 10-15°C se requiere de periodos más prolongados (Roelfs et al. 1992, Chester y Stubbs, citados por Germán 2007, Pires 2007). La esporulación alcanza su máxima tasa aproximadamente a los 4 días después de iniciada la misma a 20°C (Roelfs et al., 1992).

Dichas esporas son transportadas a nuevos tejidos susceptibles, principalmente por corrientes de aire, produciendo varios ciclos secundarios, haciendo de esta manera que se disemine rápidamente el patógeno infectando nuevas plantas, hojas y áreas.

Cuando las condiciones se tornan desfavorables para la multiplicación del patógeno se produce la senescencia del cultivo, comienza la formación de teliosporas bajo la epidermis, las que permanecen en las hojas (Roelfs et al., 1992).

2.6 CONTROL DE LA ENFERMEDAD

2.6.1 Control cultural

Existen medidas de manejo que pueden contribuir a reducir los niveles de la enfermedad a través de prácticas tendientes a disminuir la fuente de inóculo o a impedir la ocurrencia de un microclima favorable a la misma.

Dentro de éstas, la eliminación de plantas voluntarias de cultivares susceptibles, donde sobrevive el patógeno, en los meses de verano, es una medida que tiende a reducir el inóculo primario, disminuyendo el riesgo de inicio temprano de epidemias locales (Germán, 2007).

La elección de la época de siembra es otra medida de manejo alternativa, ya que temperaturas superiores a lo normal durante el invierno y primavera temprana pueden acelerar el inicio de infecciones (Germán, 2007).

2.6.2 Control genético

Se entiende por resistencia, la reacción de defensa del hospedero, resultado de una suma de factores que tienden a disminuir la agresividad y/o la virulencia del patógeno, una vez establecido su contacto con el hospedero (Leites, citado por Viero, 2008).

La virulencia es definida como la habilidad de un patógeno para superar el efecto de un gen específico de resistencia (Pires, 2007), en cambio, la agresividad se refiere a la capacidad de un aislamiento de provocar epifitias, lo cual puede estar relacionado con diferencias en la producción de esporas, las características del medio ambiente, la capacidad de las esporas para sobrevivir o infectar, la duración de los periodos de latencia y de esporulación (Roelfs et al., 1992).

Existen al menos dos categorías de interacción patógeno-planta que son clasificadas como: específica y no específica.

Las interacciones de tipo específica constituyen el fundamento de la teoría gen por gen (Flor, citado por Roelfs et al., 1992) y es aquella en que una sola cepa del patógeno interactúa con un solo genotipo del hospedero para

producir una respuesta a la enfermedad, diferente de la que provoca otra cepa en el mismo genotipo y en el mismo ambiente (Roelfs et al., 1992).

Cabe destacar que una de las particularidades de *Puccinia triticina* es la alta especialización, evidenciado por la existencia de un alto número de razas fisiológicas que interactúan específicamente con el genotipo del hospedero (Campos, 2008), lo cual pone en evidencia que esta protección no es permanente (Germán, 2007).

Este tipo de resistencia con pocos genes, pareció ser muy atractiva por ser simple de incorporar en el germoplasma a ser mejorado (Pires, 2007), pero la misma facilita a que nuevas razas del patógeno aparezcan y neutralicen los efectos de dichos genes (Arduim, 2009).

La interacción no específica, horizontal, también llamada de planta adulta o parcial, o de genes menores, se produce cuando todas las cepas provocan una respuesta similar en determinado genotipo del hospedero (Pires, 2007).

Según Parlevliet (1985), se manifiesta por efectos combinados de reducción en la frecuencia de infección (número de lesiones), períodos de latencia más largos y tasas de producción de esporas más reducidas.

La gran ventaja de contar con cultivares que presenten un alto número de genes que le confieran resistencia a la enfermedad, se basa en el hecho de que ejerce una menor presión de selección sobre el patógeno, es decir, mayor número de mutaciones requeridas para superar la resistencia, por tanto, confiere mayor durabilidad de la resistencia del genotipo en cuestión (Johnson, citado por Arduim, 2009).

El uso de cultivares resistentes es la medida más efectiva y económica para el control de roya de la hoja (Germán, 2007). Los genes de resistencia han sido obtenidos principalmente de variedades de *Triticum aestivum*, y en algunos casos provienen de otras especie de *Triticum* y de *Triticum (Aegilops)*, *Secalis* (centeno) y *Agropyrum* (Roelfs et al., 1992). Estos genes son denominados Lr (del inglés "Leaf Rust") y en la actualidad existen más de 50 genes identificados (Brammer, citado por Arduim, 2009), los cuales son efectivos durante todo el ciclo de la planta (Barcellos et al., citados por Viero, 2008).

La que presenta mayor importancia es la resistencia de planta adulta, pues es en esta fase que ocurre mayor desarrollo del patógeno y consecuentemente, son mayores los perjuicios que provoca a la planta (Arduim, 2009).

Sin embargo Roelfs et al. (1992), señala que la mejor perspectiva de control de la roya de la hoja reside en emplear combinaciones de genes, sin importar que sean mayores o menores.

2.6.3 Control químico

Cuando el nivel de resistencia genética con respecto a esta enfermedad no es suficiente, una medida de control rápida es el tratamiento químico vía aspersión de los órganos aéreos (Castellarin, 2010). De este modo, los fungicidas según Massaro et al. (2005) constituyen una herramienta eficaz que ha sido utilizada desde hace mucho tiempo en otros cultivos y ha evolucionado considerablemente con la aparición de nuevas moléculas químicas (ej: estrobilurinas).

No obstante, Astegiano y Villar (2004), Massaro et al. (2005), Castellarin (2010) concuerdan que, es necesario lograr una detección temprana de las enfermedades, evaluar su evolución y decidir la aplicación de productos químicos de manera oportuna para contribuir en la eficiencia del uso de dicha herramienta. Además, consideraciones incorrectas del nivel de incidencia y/o severidad y el estado de desarrollo del cultivo determinan en muchos casos aplicaciones inoportunas y/o la necesidad de pulverizaciones adicionales con el consiguiente incremento de los costos, impacto ambiental o pérdidas de rendimientos potenciales por la menor efectividad de los productos.

En muchas oportunidades, según Carmona (2008), se puede considerar mucho más importante el momento de aplicación, que el producto químico utilizado.

Los fungicidas son sustancias químicas utilizadas para controlar a los hongos, pero no necesariamente debe matar al hongo, pues puede poseer acción fungicida, fungiestática y/o antiesporulante (Reis, citado por Arduim, 2009).

Actualmente existe una amplia gama de oferta de principios activos para el control de las enfermedades de trigo, de diferente grupo y modo de acción, como ser triazoles, benzimidazoles y estrobilurinas.

Los triazoles y las estrobilurinas son grupos químicos con eficacia comprobada hasta el momento para el control de la roya de la hoja de trigo (Azevedo, citado por Viero, 2008).

Los triazoles (inhibidores de la biosíntesis de ergosterol), se absorben rápidamente vía cutícula, por lo cual precipitaciones una hora después de la aplicación no compromete la eficacia y confieren una acción protectora prolongada entre 15 y 25 días. Las estrobilurinas (inhibidores de la respiración mitocondrial e interferencia en la formación de ATP) penetran en la planta con acción en profundidad (translaminar) y mesosistémica, es decir, de estrecha afinidad con la superficie vegetal absorbidos por la capa de cera, forman un depósito y poseen acción terapéutica limitada una vez ocurrida la infección (Reis y Forcelini, Reis et al., citados por Formento, 2007c).

Varios experimentos han sido realizados para cuantificar el impacto del control químico, el tipo de formulación y el momento de aplicación sobre el rendimiento de trigo.

Según la Comisión Sur-Brasileña de Investigación de Trigo (Viero, 2008), en cultivares susceptibles a roya de la hoja, el tratamiento debe ser realizado preventivamente en condiciones favorables para la enfermedad. Sin embargo, en cultivares con resistencia de planta adulta o desarrollo lento de la enfermedad, es necesario acompañar la evolución de la enfermedad y realizar aplicación en base al UDA (Umbral de Daño Económico).

En las temporadas 2000-2001 y 2001-2002, fue evaluado el rendimiento de trigo, con y sin aplicación de un triazol (epoxiconazole) en macollaje (estadio 25) y hoja bandera desarrollada (estadio 39). Se observó un aumento en el rendimiento desde 651 a 1410 Kg/ha cuando el cultivo fue tratado, en comparación con los testigos sin fungicida (Cátedra y Solis, 2003).

Resultados similares fueron mencionados por Castellarín (2010), quien observó diferencias en rendimiento de 698 Kg/ha a favor del tratamiento libre de la enfermedad (protegido químicamente), en comparación con testigos sin

tratamiento. Dichas diferencias fueron adjudicadas a un mayor número de granos/espiga y PMG en aquellos tratamientos sin enfermedad.

Villar y Cencig (2004), determinaron que el rendimiento en grano fue 23% menor cuando no se realizó control químico, en un experimento en el cual se evaluó el impacto del momento de aplicación de químicos. A su vez, Castellarin et al., citados por Castellarin (2010), encontraron que la tasa de pérdida de rendimiento entre momentos de aplicación, dentro del período crítico del cultivo oscilo entre 71 a 78 Kg/ha/día.

Leyva Mir et al. (2003), determinaron que la inoculación con roya de la hoja a plantas de trigo de variedades resistentes y susceptibles, en etapa de embuche, no afectó al largo del ciclo a floración, el índice de cosecha, el número de espigas/m², el número de granos/espiga ni al número de granos/espiguilla, debido a que dichas variables ya estaban definidas en la fenología del cultivo cuando se presentó la enfermedad.

Massaro et al. (2003), indican que el control químico, aplicado en las hojas superiores de trigo (HB y HB⁻¹), es una alternativa viable cuando la severidad de la enfermedad es relativamente baja. Además, mencionan que dicha práctica debe ser combinada con un buen comportamiento sanitario del cultivar utilizado y un alto potencial de rendimiento.

Hay diversos estudios que han buscado estimar el impacto del momento de aplicación y el tipo de formulación sobre el control de roya de la hoja de trigo y el rendimiento del mismo. Los mismos demuestran que los controles tempranos, presentan los mejores resultados (Astegiano y Villar, 2004) y que son dos los fungicidas con eficacia comprobada: triazoles y estrobilurinas (Azevedo, citado por Viero, 2008).

En un estudio realizado por Formento (2007c) en INIA Entre Ríos, utilizando diversas formulaciones para el control de la roya de la hoja en un cultivar susceptible de trigo, aplicados todas cuando la hoja bandera está totalmente desarrollada ("momento oportuno físico"), se encontró que la utilización de fungicidas redujo en un 78% promedio la presencia de la enfermedad (pústulas uredinosóricas), evaluada en el estadio de grano pastoso.

El rendimiento se incrementó entre 8 a 16%. Ese incremento fue adjudicado a diferencias en el peso de mil granos según la formulación utilizada, siendo 17 y 13% cuando se usó un triazol y una estrobilurina respectivamente por efectos curativos y erradicantes en el primer caso, y por efecto “greening” de la estrobilurina (3-5 días más con área fotosintéticamente activa) (Formento, 2007c).

En experimentos evaluados por Formento y de Souza (2007b), parcelas tratadas con un triazol en el momento en que el cultivo estaba en hoja bandera completamente desplegada, demostraron aumentos de rendimiento de 800 Kg, y un aumento de 23% de PMG, en comparación con las no tratadas.

En la zafra 2003-2004, fueron realizados, una serie de experimentos en la zona occidental de Andalucía, donde se evaluó la eficiencia de diferentes principios activos, solos o en mezclas en el control de la roya de la hoja de trigo. Se encontró mayor rendimiento en grano cuando se aplicó una sola vez, una mezcla de estrobilurinas e inhibidores de la síntesis de ergosterol (epoxiconazol + pyraclostrobin). Además, se pudo demostrar la eficacia de realizar una sola aplicación de epoxiconazol a dosis completa en estadios temprano del cultivo (hoja bandera totalmente desarrollada), frente a reducciones de dosis y/o aplicaciones en estadios fenológicos previos del cultivo (Catedra et al., 2005).

En el año 2007, fueron evaluados 4 experimentos, indicando que el mismo fue completo hasta 4 días después de la inoculación de las plantas de trigo cuando se utilizó un triazol (tebuconazol) y 5 días para el caso en que se usó la mezcla (epoxiconazol + pyraclostrobin), presentando esta última, acción antiesporulante (Viero, 2008).

El impacto del momento de aplicación de químicos para el control de la enfermedad fue evaluado por Astegiano y Villar (2004), quienes condujeron un experimento con diversos tratamientos, dependiendo del momento de aplicación de fungicidas. Los resultados obtenidos indican que las aplicaciones tempranas (Z 37 hoja bandera), presentan los mejores resultados tanto en protección, como en incremento de rendimiento en relación a un tratamiento testigo sin aplicación de fungicidas.

El PMG no fue significativamente diferente, pero se observó una tendencia a ser menor cuando los tratamientos son adelantados, con reducciones de hasta 6,7%.

Similares resultados fueron encontrados por Villar y Cencig (2004). Los tratamientos que se presentaron como promisorios en un cultivar susceptible a la enfermedad fueron aquellos que permitieron mantener baja la incidencia de la enfermedad en el periodo de crecimiento de la espiga (Z 30) y evitar afectar muy severamente la HB ($\leq 5\%$ de severidad) al momento de llenar granos.

2.7 EFECTOS FISIOLÓGICOS EN LA PLANTA HUESPED INFECTADA

El proceso de la enfermedad conduce a cambios en varios procesos fisiológicos en la planta huésped, incluida la respiración nocturna, fotosíntesis, translocación de agua y nutrientes, transpiración y la regulación del crecimiento (Lucas, citado por Bassanezi et al., 2002).

La infección por hongos, reduce la tasa de fotosíntesis, debido a una reducción en el área foliar y la eficiencia fotosintética del resto de la zona verde de la hoja (Livne, Raggi, Boote et al., Bastiaans, Shtienberg, Bassanezi et al., citados por Bassanezi et al. 2002, Leyva Mir et al. 2003) aumentando a su vez la respiración nocturna (Daly et al., Raggi, Owerá et al., Martín, Bassanezi et al., citados por Bassanezi et al., 2002).

Cuando la planta interacciona con patógenos biotróficos la mayor reducción de la fotosíntesis ocurre en aquellas regiones de la planta invadidas por los hongos adyacentes al micelio (Scholes y Rolfe, citados por Bassanezi et al., 2002).

Varios trabajos han estudiado el efecto de la infección por hongos sobre la fotosíntesis de plantas de trigo, y su relación con el nivel de severidad de la enfermedad. En este sentido, Bassanezi et al. (2002), determinaron una disminución en la tasa de fotosíntesis neta y un aumento en la respiración a medida que el nivel de severidad de la enfermedad aumenta ($R^2= 0,97$ y $0,91$ respectivamente). Según Szikaki et al., citados por Bassanezi et al. (2002) esta reducción en la fotosíntesis es explicada por alteraciones en el cloroplasto y reducciones en el contenido de clorofila en hojas enfermas.

La asimilación de CO₂, no está totalmente explicada por la disminución del área foliar verde, sino por la disminución en la eficiencia fotosintética del área remanente (hojas sanas), lo cual es adjudicado según los autores a un aumento en la resistencia estomática entre pústulas. En cambio, Robert et al. (2004), Carretero et al. (2010), afirman que no existe efecto depresivo sobre el tejido sano remanente, ni en la capacidad del tejido clorótico de seguir fotosintetizando en hojas enfermas.

Mac Grath y Pennypacker (1990), Shtienberg (1992), también han estudiado la relación existente entre el nivel de severidad y la fotosíntesis encontrando una alta variabilidad en los resultados, lo cual fue atribuido a cuatro factores: i) ciclo de desarrollo del hongo, específicamente cuando lesiones con diferentes edades pueden tener un efecto diferente sobre la fotosíntesis (Scholes y Farrar, Scholes y Rolfe, citados por Robert et al., 2004); ii) método de evaluación de la enfermedad (Madden y Nutter, citados por Robert et al., 2004), ya que varía según se evalúe el área de esporulación (Peterson et al., citados por Robert et al., 2004), o el área de esporulación más el halo clorótico que rodea las lesiones (Lopes y Berger, citados por Robert et al., 2004); iii) estado fisiológico del huésped, debido a que el patógeno es influenciado por la edad de la planta (Rapilly, citado por Robert et al., 2004) y la hoja que coloniza (Johnson y Teng, citados por Robert et al., 2004); iv) estado nutricional de la hojas, lo cual influye en el desarrollo y expresión de la lesión (Snoeiijers et al., citados por Robert et al. 2004, Robert et al. 2004) y por último v) el genotipo del hospedero, ya que desempeña un papel significativo en la incidencia de la enfermedad (Robert et al., 2004).

Bassanezi et al. (2002) concluyeron que la conductancia estomática y tasa de transpiración de hojas enfermas fue inferior que la de hojas sanas, sin embargo, no se encontró relación con el nivel de severidad ($R^2=0,472$ y $0,668$ respectivamente). A su vez, se determinó que cuando la severidad presentaba valores iguales o inferiores a 10%, la concentración de CO₂ fue similar para hojas enfermas y sanas. Sin embargo, cuando la severidad aumentaba a valores por encima del 20% la concentración de CO₂ era mayor en hojas enfermas ($r=0,86$) (Bassanezi et al., 2002)

Al igual que en otros cereales la producción de biomasa de trigo ha sido descrita como la RIE (del inglés Radiation Interception Efficiency) y RUE (del inglés Radiation Use Efficiency) (Gardner et al., Johnson, citados por Carretero et al., 2010). La proporción de la radiación solar incidente que es capturada por el cultivo depende del LAI (del inglés Leaf Area Index) y de la arquitectura del canopeo, asociado con el coeficiente de extinción (k), el cual define la relación funcional entre RIE y LAI (Montelth y Unswort, citados por Carretero et al., 2010).

En este sentido, Carretero et al. (2010) han realizado una serie de trabajos para estudiar la manera en que las enfermedades foliares afectan dichos parámetros. Se encontró que éstas reducen la radiación interceptada y absorbida, por medio de una disminución en el índice de área foliar y área foliar verde, sin efectos significativos en la RUE.

Además se determinó que el impacto en la reducción de RIE depende del valor de LAI que alcanza el cultivo cuando aparece la enfermedad (Cornish et al., Paveley et al., citados por Carretero et al., 2010), siendo menor o nulo cuando el LAI no se reduce a valores inferiores al crítico, ya que el cultivo tiene la capacidad de interceptar el 95% de la radiación, así como también de la posición vertical del canopeo en donde aparecen las enfermedades (Robert et al. 2004, Béasse et al., Bancal et al., citados por Carretero et al. 2010, Carretero et al. 2010).

Con relación a lo mencionado anteriormente Gooding et al., citados por Carretero et al. (2010) indicaron que las hojas superiores del canopeo son de particular importancia en la contribución del rendimiento de trigo, por estar más cerca de las espigas y con menor sombreado. Esto resulta en una mayor contribución de carbohidratos a la espiga, siendo la HB (hoja bandera) la principal hoja de la planta (Lupton, citado por Carretero et al., 2010).

Robert et al. (2004), Formento y de Souza (2007b) demostraron que la fotosíntesis de la HB contribuye con el 45% del total de la fotosíntesis, y el estrato inmediatamente inferior con el 20%.

Carretero et al. (2010), estudiaron el efecto de la infección tanto por agentes patógenos biótropos así como necrótrofos en IPAR (del inglés Intercepted Photosynthetic Active Radiation) y APAR (del inglés Absorbed

Photosynthetic Active Radiation), y los resultados obtenidos muestran que la infección por parte de los primeros provocan mayores reducciones en ambos parámetros. Esto fue debido a mayores reducciones en el IAFV (índice de área foliar verde) en hojas superiores y a su vez se determinó que el impacto fue mayor cuando las hojas presentaban mayor contenido de N foliar (Tiedemann, Robert et al., citados por Carretero et al., 2010). Sin embargo, las curvas obtenidas de ambos parámetros presentaron una diferencia marcada, debido a que el tejido no verde intercepta parte de la radiación que podría ser utilizada por otras partes verdes del canopeo.

En síntesis Carretero et al. (2010), concluyeron que las reducciones en IPAR por efecto de enfermedades, fue debida principalmente a sus efectos en la reducción del LAI, siendo esta reducción mayor en el caso en que los patógenos se diseminan por viento, ya que tienen la capacidad de colonizar estratos superiores del canopeo.

La interacción planta-patógeno es diversa dependiendo de la estrategia de los patógenos. Los mecanismos de defensa de las plantas son diferentes según el patógeno sea biótrofo o necrótrofo. Para el caso de los patógenos biótrofos el mecanismo de defensa es ácido salicílico dependiente (SA), mientras que frente a los patógenos necrótrofos el mecanismo es ácido jasmónico dependiente (JA) y/o etileno dependiente (ET) (Glazebrook, 2005).

Dichos mecanismos de defensa están interrelacionados, y confieren la resistencia denominada gen x gen. Esta resistencia se caracteriza por tener dos tipos de respuestas frente a la amenaza del patógeno: i) rápida producción de intermediarios reactivos del oxígeno (ROS: reactive oxygen species) llamado “estallido oxidativo”, lo que puede tener efecto antimicrobiano directo y servir como señal para activar otras respuestas de defensa, ii) respuesta de hipersensibilidad (HR), la cual resulta en una muerte celular programada que restringe el acceso de los patógenos a nutrientes y agua, además de activar la señalización SA dependiente (Glazebrook, 2005).

Según estudios realizados por Gang Liu et al. (2010), la entrada del ion Ca^{2+} a la célula por medio de la pared y membrana plasmática es necesaria para la activación de la respuesta hipersensible. Se encontró que en cultivares resistente la entrada del ión Ca^{2+} a la célula demora 8 horas después de la

infección, siendo para los cultivares susceptibles 4 horas más tarde el ingreso del ion.

2.7.1 Efectos de los fungicidas sobre la fisiología de la planta

Hasta hace poco, los fungicidas se centraban en el control de los patógenos con el propósito de reducir el inóculo. Con la aparición de las estrobilurinas, el concepto cambió, al considerar las ventajas obtenidas por la acción de efectos fisiológicos positivos sobre las plantas (Venancio et al., 2003).

Los experimentos de campo han revelado que los cereales tratados con piraclostrobin muestran aumentos significativos en la producción, mayor que la debida únicamente a su efecto fungicida (Koehle et al., citados por Venancio et al., 2003).

En un experimento llevado a cabo por Venancio et al. (2003) se encontró que la absorción del nitrógeno fue estimulado por piraclostrobin en comparación con parcelas sin aplicación del principio activo. Según los autores esto puede explicar el hallazgo de que con frecuencia se alcanza el efecto más importante en el cultivo cuando el fungicida se aplica durante la fase en que la demanda de nitrógeno es máxima.

En términos hormonales, las estrobilurinas inhiben la biosíntesis de etileno (inducido por cualquier factor de estrés), a través de la reducción de la actividad del ácido aminociclopropano-carboxílico sintasa (ACC) en el tejido de los brotes de trigo.

Esto fue relacionado con el retraso de la senescencia de las hojas y en consecuencia, a la prolongada actividad fotosintética de los tejidos verdes (Venancio et al., 2003).

En este mismo experimento se encontró que, después de exponer las hojas de trigo a piraclostrobin durante 48 horas, la pérdida de clorofila (indicador de la progresión de la senescencia), fue inhibida por una concentración creciente de estrobilurinas.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 DESCRIPCION DEL EXPERIMENTO

3.1.1 Ubicación

El ensayo se realizó en el campo experimental de la Estación Experimental Dr. Mario Antonio Cassinoni de la Facultad de Agronomía, ubicada en el departamento de Paysandú, Uruguay, en el período de junio a noviembre del año 2009. El mismo se desarrolló sobre un suelo Brunosol éutrico típico, de textura franco arcilloso, correspondiente a la unidad de suelos San Manuel según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay escala 1:1.000.000 (Altamirano et al., 1976).

3.1.2 Manejo del cultivo

Se realizó la siembra de dos cultivares de trigo de comportamiento sanitario contrastante frente a roya de la hoja; Baguette 9 (susceptible) y Atlax (resistente) el 18 de junio del año 2009, en donde se obtuvo una población de 42 y 36 plantas/m lineal para Baguette 9 y Atlax respectivamente.

Los nutrientes fueron ajustados en forma objetiva con el modelo propuesto por Hoffman et al. (2001) para el manejo del nitrógeno en cultivos de invierno en Uruguay. Para el caso del fosforo se ajustó mediante el método Bray I.

Cuadro No. 3: Análisis de suelo (0-20 cm) para nitrógeno y fósforo y ajuste de la fertilización para el cultivo de trigo.

Análisis de suelo a siembra N-NO₃⁻ (ppm) (0-20 cm)	32	32
Análisis de suelo siembra P Bray I (ppm) (0-20 cm)	11	11
Fertilización basal a siembra	70 Kg/ha (7-40-0-5)	70 Kg/ha (7-40-0-5)
Análisis de suelo a Z 22 N-NO₃⁻(ppm) (0-20 cm)	28	28
Fertilización a Z 22	0	0
Análisis de planta Z 30	3,8%	3,8%
Fertilización Z 30	40 Kg/ha (46-0-0)	40 Kg/ha (46-0-0)

3.1.3 Tratamientos evaluados

Se evaluaron dos cultivares de elevado potencial de producción y comportamiento contrastante a roya de la hoja, Baguette 9 (susceptible) y Atlax (resistente), dos fungicidas triazoles de alta eficiencia con y sin estrobilurina, Swing (epoxiconazol + carbendazim) y Opera (pyraclostrobyn + epoxiconazol) y tres momentos de aplicación de los mismos; tratamientos protegidos con aplicación quincenal, tratamientos con aplicaciones tempranas respecto al desarrollo de la epidemia y tratamientos con aplicaciones tardías respecto al inicio de la epidemia en cada uno de los cultivares evaluados. A su vez se incluyó un tratamiento sin aplicación.

3.1.3.1 Descripción de los tratamientos

Cuadro No. 4: Descripción de los tratamientos evaluados en el experimento.

No. de tratamiento	Cultivar	Fungicida	Momento de aplicación
1	Baguette 9	-	Sin aplicación
2	Baguette 9	Swing	Protegido
3	Baguette 9	Swing	Temprana
4	Baguette 9	Swing	Tardía
5	Baguette 9	Opera	Protegido
6	Baguette 9	Opera	Temprana
7	Baguette 9	Opera	Tardía
8	Atlax	-	Sin aplicación
9	Atlax	Swing	Protegido
10	Atlax	Swing	Temprana
11	Atlax	Swing	Tardía
12	Atlax	Opera	Protegido
13	Atlax	Opera	Temprana
14	Atlax	Opera	Tardía

Se realizaron cuatro aplicaciones de fungicidas en las parcelas protegidas. Este tratamiento se consideró como el protegido sin enfermedad.

Las aplicaciones tempranas fueron realizadas en base al nivel crítico de infección (como se explica en 3.1.3.2) y las tardías se aplicaron una semana después de éstas, suponiendo que el momento de control de la enfermedad fue tardío.

3.1.3.2 Nivel crítico según cultivar y fungicida

Según Pereyra y Díaz de Ackerman (2007) la función de pérdida de rendimiento en grano para trigos de ciclo intermedio depende del estado vegetativo del cultivo, el rendimiento esperado y la severidad de la enfermedad (área foliar afectada).

Funciones de pérdida según estado vegetativo para el cultivo de trigo (Pereyra y Díaz de Ackerman, 2007):

Hoja bandera $Y=100-13,2S$.

Principio de floración $Y=100-2,6S$.

Y: rendimiento esperado.

S: severidad de la enfermedad.

Uno de los aspectos a considerar a la hora de realizar la aplicación de fungicidas es comparar los niveles de infección del cultivo con los niveles críticos. El nivel crítico es el nivel de infección en el cual las pérdidas en rendimiento de grano igualan el costo de una aplicación de fungicidas (Pereyra y Díaz de Ackerman, 2007):

$$.NC= \frac{(CP+CA)*100}{P*coef*Re}$$

P* coef *Re

Re: rendimiento esperado (Kg/ha).

P: precio del trigo (U\$\$/kg).

CP: costo del fungicida (U\$\$/ha).

CA: costo de la aplicación (U\$\$/ha).

coef: coeficiente de pérdida de rendimiento por cada 1% de severidad de la enfermedad (detallado en las funciones de pérdidas de rendimiento).

A continuación se detallan los niveles críticos de infección calculados para cada cultivar y fungicida evaluado en el experimento.

Cuadro No. 5: Nivel Crítico según cultivar y fungicida evaluados en el experimento.

BAGUETTE 9	Rendimiento (Kg/ha)	Precio trigo (U\$\$/Kg)	Fungicida (U\$\$/ha)	Aplicación (U\$\$/ha)	NC (%)
Opera	6244	0,19	37,5	8	1,47
Swing	6244	0,19	24	8	1,04
ATLAX	Rendimiento (Kg/ha)	Precio trigo (U\$\$/Kg)	Fungicida (U\$\$/ha)	Aplicación (U\$\$/ha)	NC (%)
Opera	5298	0,19	37,5	8	1,74
Swing	5298	0,19	24	8	1,22

En condiciones de campo, la aplicación temprana de fungicidas se realizó, cuando el nivel de infección presente en el cultivo había superado el nivel crítico calculado para cada cultivar y fungicida, lo cual pudo haber afectado los resultados esperados entre los diferentes momentos de aplicación, tanto en términos de control de la enfermedad como en rendimiento de grano.

3.1.4 Diseño experimental

El diseño estadístico correspondió a un factorial completo con dos tratamientos adicionales. Los 14 tratamientos resultantes surgen de la combinación factorial de los dos cultivares evaluados, los dos fungicidas, y los tres momentos de aplicación de cada uno de los productos, más dos tratamientos adicionales, los cuales se corresponden a los dos cultivares sin aplicación de fungicidas (testigos con enfermedad).

El diseño experimental fue de bloques con parcelas aleatorizadas con tres repeticiones. El experimento contó con 42 parcelas, cada una con un área de 5 m² (5 metros de largo x 6 hileras a una distancia de 0,17 cm cada una).

Factores:

Cultivares: Baguette 9 y Atlax.

Fungicidas: Swing y Opera

Momento de aplicación: protegido, temprana y tardía.

Modelo estadístico:

$$Y_{ijklm} = \mu + \beta_i + C_j + T_k + (CT)_{jk} + F_l(T_k) + M_m(T_k) + (FM)_{lm}(T_k) + (CF)_{jl}(T_k) + (CM)_{jm}(T_k) + (CFM)_{jlm}(T_k) + \varepsilon_{ijklm}$$

Siendo:

Y_{ijklm} : valor observado

μ : media poblacional

β_i : efecto del i-ésimo bloque

C_j : efecto del j-ésimo cultivar

T_k : efecto del k-ésimo tratamiento testigo.

$(CT)_{jk}$: efecto de la interacción del j-ésimo cultivar y el k-ésimo tratamiento testigo.

$F_l(T_k)$: efecto del l-ésimo fungicida, anidado por el testigo.

$M_m(T_k)$: efecto del m-ésimo momento de aplicación de fungicida, anidado por el testigo.

$(FM)_{lm}(T_k)$: efecto de la interacción entre el l-ésimo fungicida y el m-ésimo momento de aplicación de fungicida, anidada por el testigo.

$(CF)_{jl}(T_k)$: efecto de la interacción entre el j-ésimo cultivar y el l-ésimo fungicida, anidada por el testigo.

$(CM)_{jm} (T_k)$: efecto de la interacción entre el j-ésimo cultivar y el m-ésimo momento de aplicación de fungicida, anidada por el testigo

$(CFM)_{jlm} (T_k)$: efecto de la interacción entre el j-ésimo cultivar, el l-ésimo fungicida y el m-ésimo momento de aplicación de fungicida, anidada por el testigo.

ϵ_{ijklm} : error experimental del uso del i-ésimo bloque, j-ésimo cultivar, k-ésimo testigo, l-ésimo fungicida y m-ésimo momento de aplicación de fungicida.

i : 1, 2, 3

j : 1 (Baguette 9), 2 (Atlax)

k : 1 (Baguette 9), 2 (Atlax)

l : 1 (Opera), 2 (Swing)

m : 1 (Sano), 2 (Temprano), 3 (Tardío).

3.2 CARACTERISTICAS DE LOS CULTIVARES UTILIZADOS

Cuadro No. 6: Rendimiento en grano, comportamiento frente a roya de la hoja y largo de ciclo de los cultivares evaluados en el experimento.

Cultivar	Rendimiento (Kg.ha ⁻¹)*	Roya de la hoja**	Ciclo
Baguette 9	7531	A	Intermedio
Atlax	7434	BI	Intermedio

*: UDELAR (URUGUAY). FA (2008). ** Castro et al. (2006), Castro et al. (2008): A: Alto nivel de infección; BI: Bajo-Intermedio nivel de infección.

La caracterización antes mencionada muestra el alto potencial de producción que presentan ambos cultivares.

Según Castro et al. (2006), Castro et al. (2008) Atlax es más precoz que Baguette 9, desde pos emergencia a floración (80 y 85 días para Atlax y Baguette 9 respectivamente).

El nivel de infección de roya de la hoja de cada uno de los cultivares, evidencia su comportamiento contrastante frente a roya de la hoja.

3.3 FUNGICIDAS

Los dos fungicidas evaluados presentan alta efectividad contra *Puccinia triticina* y la diferencia principal radica en la concentración del triazol, y la mezcla con benzimidazol o estrobilurina.

Cuadro No. 7: Nombre comercial, composición y dosis recomendada de los fungicidas utilizados en el experimento.

Nombre comercial	Empresa	Composición	Dosis recomendada
Opera	Basf	Pyraclostrobyn (133 g/l) + Epoxiconazol (50 g/l)	1 l/ha
Swing	Basf	Carbendazim (125 g/l) + Epoxiconazol (125 g/l)	0,75-1 l/ha

3.4 MOMENTO DE APLICACIÓN DE FUNGICIDAS

Los tratamientos adicionales correspondientes a los testigos enfermos no tuvieron aplicaciones de fungicidas en todo el ciclo del cultivo.

Cuadro No. 8: Momentos de aplicación de fungicidas según estadio fenológico del cultivo (según escala Zadoks) y días pos siembra (dps).

Momentos de aplicación	Estadio fenológico (Zadoks)	Días pos siembra (dps)
Protegidos	Z 33; Z 40; Z 60; Z 78	84; 90; 111; 132
Temprana	Z 60	111
Tardía	Z 65	118

Todas las aplicaciones se realizaron con una pulverizadora de mochila, con 3 boquillas Turbo Teejet 11001, cubriendo un ancho de trabajo de 1,5 metros.

Ambos fungicidas fueron aplicados a una dosis equivalente a 1l/ha.

3.5 DETERMINACIONES

3.5.1 Fenología

La escala utilizada para determinar los estados fenológicos del cultivo fue la propuesta por Zadoks et al. (1974).

3.5.2 Población y macollaje

Se realizó un conteo de plantas en cada parcela a los 27 días pos siembra (dps). El conteo se realizó en dos metros lineales en una hilera al azar, quedando dicha hilera marcada para seguimiento de macollaje y producción de biomasa.

Al estado de Z 30 (67 y 63 dps para Baguette 9 y Atlax respectivamente) se determinó el máximo macollaje, mediante el conteo del número de macollos, en los dos metros lineales marcados previamente.

3.5.3 Evolución de la enfermedad

Se efectuó el seguimiento del estado sanitario del cultivo de todos los tratamientos. Las lecturas sanitarias se iniciaron cuando Baguette 9 se encontraba en Z 50 y Atlax en Z 60 (23/09/2009; 97 días pos siembra (dps)) ante la aparición de primeros síntomas y se continuaron realizando con frecuencia semanal, concretándose un total de 6 lecturas a lo largo de todo el ciclo del cultivo.

Cada una de las lecturas se realizó en el tallo principal de 5 plantas tomadas al azar en cada parcela, y en cada una se estimó en forma visual el porcentaje de la hoja (severidad) que estaba afectado por rya de la hoja en cada hoja viva del mismo. Se utilizó el programa Distrain (Tomerlin y Howell, 1988) como referencia.

3.5.4 Biomasa aérea

Al estado de Z 30 se estimó la producción de materia seca mediante la metodología "Rising plate meter" (Ash-Grove) en 4 puntos de muestreo seleccionado al azar en cada parcela. El equipo utilizado fue calibrado en el borde del experimento. Es un método no destructivo, debido a que no se elimina la parte aérea del cultivo.

En Z 65 la acumulación de biomasa fue determinada mediante corte de parte aérea de los dos metros lineales marcados en implantación en cada tratamiento.

Al momento de la cosecha se cortó el total de la parcela y se pesó el total de materia seca producido en cada parcela (5 m²).

En todos los casos las muestras tomadas fueron secadas en estufa (60°C) hasta llegar a peso constante, correspondiendo a materia seca.

Todas las determinaciones se expresaron en Kg/ha.

3.5.5 Índice de verde

En todos los tratamientos se determinó la evolución de un índice de verde, mediante el Leaf color chart (Witt et al., 2005), como estimador indirecto de fotosíntesis del cultivo

Se realizaron tres lecturas en los estadios fenológicos Z 70, Z 73 y Z 78 para el caso de Baguette 9 y en los estadios fenológicos Z 75, Z 80 y Z 85 para el caso de Atlax.

En cada parcela se tomaron al azar 4 plantas y en cada una de ellas se evaluó en índice de verde en tres estratos de la canopia; superior, correspondiente a la hoja bandera y la siguiente (HB-1), estrato medio (HB-2) y estrato inferior (HB-3).

3.5.6 Madurez fisiológica

A partir del 9 de noviembre y cada dos días, en 10 plantas seleccionadas al azar de cada parcela se determinó el día en que se logró la madurez fisiológica. El punto de madurez fue estimado en base al color del pedúnculo de la espiga del tallo principal. Se consideró madurez fisiológica cuando el mismo tomaba coloración amarillenta.

3.5.7 Componentes del rendimiento

Se contabilizó el número de espigas en dos metros lineales asignados al azar en cada parcela, los cuales fueron expresados en espigas/m². Luego se realizó la trilla a mano de 20 espigas tomadas al azar, de los dos metros lineales, para determinar el número de granos/m² y el peso (PMG), el cual fue expresado en gramos.

El rendimiento en cada parcela fue expresado en todos los casos en Kg/ha y se corrigió al 12% de humedad, ya que los tratamientos presentaron diferente porcentaje de humedad al momento de la cosecha.

3.5.8 Parámetros de calidad

3.5.8.1 Peso hectolítrico (PH)

Se evaluó el PH (Kg/hl) del total de granos de cada parcela, con el equipo fabricado por Negri Quartino y Ferrario S.A.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para realizar el análisis de varianza de todas las determinaciones antes mencionadas, se utilizó el programa SAS. Cuando el análisis de varianza fue significativo ($p < 0,05$) se realizó separación de medias por Tukey al 5% de probabilidad de error.

4. RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL AÑO

El período en el cual se desarrolló el experimento en el 2009 se caracterizó por ser relativamente más frío a inicios del ciclo del cultivo (junio-julio). Sin embargo, en agosto la temperatura superó al promedio histórico, lo cual pudo ser un factor que afectó el crecimiento. El régimen térmico durante el período crítico y el llenado de grano, no fue una limitante, ya que la temperatura fue menor en el mes de setiembre con respecto al promedio en comparación y a partir del llenado de grano, fue similar al promedio histórico. Con respecto al desarrollo de la enfermedad, es a partir del mes de octubre que la temperatura media no fue un factor limitante para su desarrollo, ya que según Roelfs et al. (1992), Leyva Mir et al. (2003), Wiese, citado por Viero (2008) se requieren temperaturas de entre 15-25° C para que las esporas del patógeno germinen.

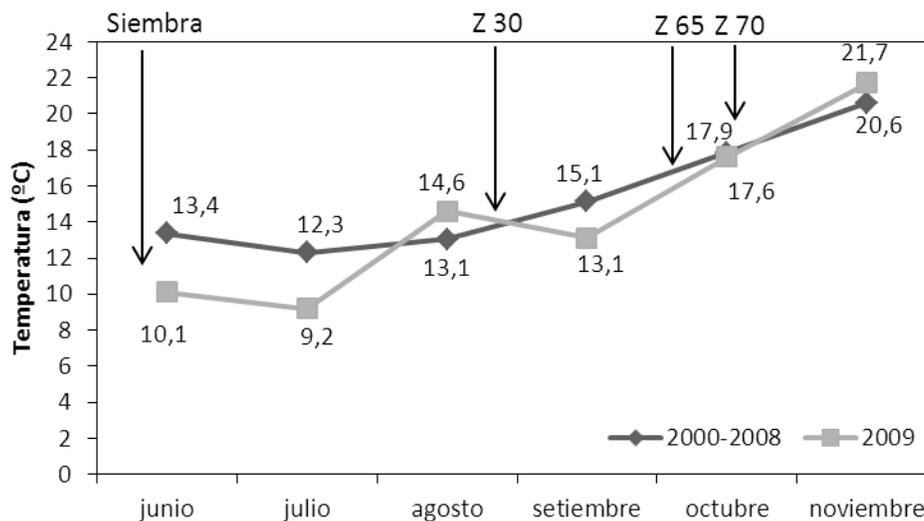


Figura No. 1: Temperatura media para el año 2009 en relación al promedio 2000-2008 en EEMAC, Paysandú. Uruguay. El estadio fenológico del cultivo se presenta en la parte superior de la figura.

Además de los requerimientos de temperatura necesarios para que las esporas germinen, se requieren períodos de entre cuatro a ocho horas de agua libre sobre los tejidos susceptibles, lo cual es comúnmente satisfecho por el rocío, neblina y lluvia (Roelfs et al. 1992, Leyva Mir et al. 2003, Germán 2007, Wiese, citado por Viero 2008). Desde la siembra del cultivo hasta la realización de la última lectura sanitaria, transcurrieron 134 días y en este periodo ocurrieron 34 días, con condiciones de humedad relativa, que favorecieron la formación de rocío (ver ANEXOS).

Las precipitaciones ocurridas durante el periodo experimental fueron mayores que el promedio histórico considerado. En la fase de encañado (setiembre) las precipitaciones fueron suficientes. En llenado de grano, a partir de la segunda quincena de octubre hasta la cosecha, las precipitaciones ocurridas, no limitaron el llenado de grano, pero sí pudieron haber afectado la calidad del mismo (Ph) (Figura No. 2).

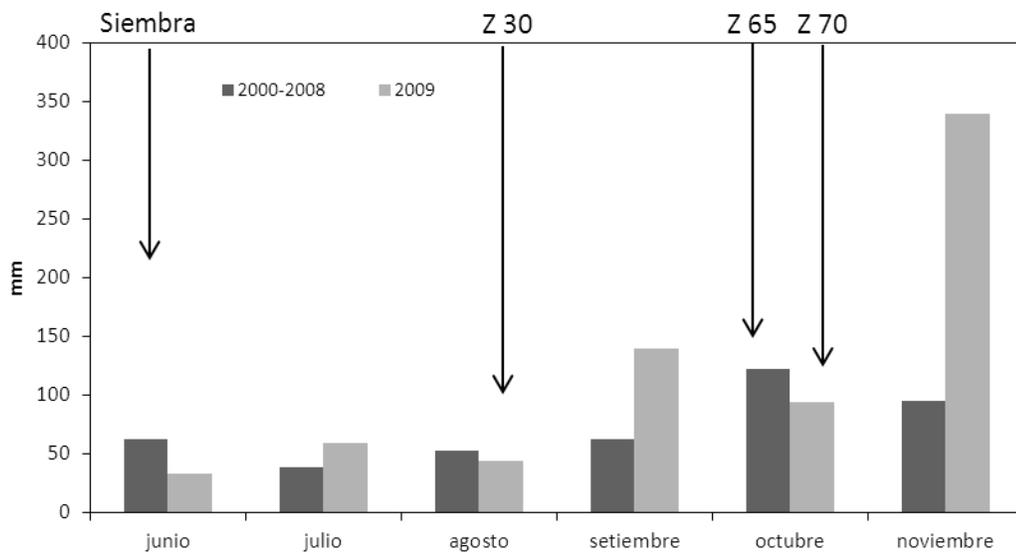


Figura No. 2: Precipitaciones promedio para el año 2009 en relación al promedio 2000-2008 en EEMAC, Paysandú. Uruguay. El estadio fenológico del cultivo se presenta en la parte superior de la figura.

4.2 EVOLUCIÓN DE LA SEVERIDAD DE ROYA DE LA HOJA

Las primeras pústulas de la enfermedad se observaron en el mes de setiembre (23/09) con niveles de traza en ambos cultivares. Su evolución, fue significativamente diferente según el cultivar evaluado en todas las lecturas sanitarias efectuadas. En Baguette 9 la infección aumentó progresivamente hasta alcanzar un nivel máximo de severidad de 80%, a diferencia de Atlax en el cual la infección alcanzó 26% de severidad en la última lectura sanitaria efectuada, para los tratamientos testigos (sin aplicación de fungicidas) de ambos cultivares (Cuadro No. 9 y Figura No. 3).

Cuadro No. 9: Resultado de la probabilidad ($Pr > F$) del efecto cultivar, fungicida, momento de aplicación y sus interacciones según lectura sanitaria efectuada (días pos siembra) para la variable severidad de roya de la hoja.

	Número de lectura (días pos siembra)					
	1 (97)	2 (104)	3 (112)	4 (119)	5 (126)	6 (134)
Cultivar	0,0027	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
Fungicida	0,6419	0,5715	0,7281	0,9621	0,5455	0,2721
Momento	0,0753	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
Cultivar*Fungicida	0,3352	0,6681	0,6079	0,2379	0,0473	0,893
Cultivar*Momento	0,1055	0,06	0,0105	0,0004	0,0199	0,031
Fungicida*Momento	0,433	0,9075	0,2655	0,0678	0,31	0,4291
Cvr*Fung*Mom	0,8894	0,5928	0,9439	0,6993	0,1479	0,938

Referencias: Cvr: cultivar; Fung: fungicida; Mom: momento.

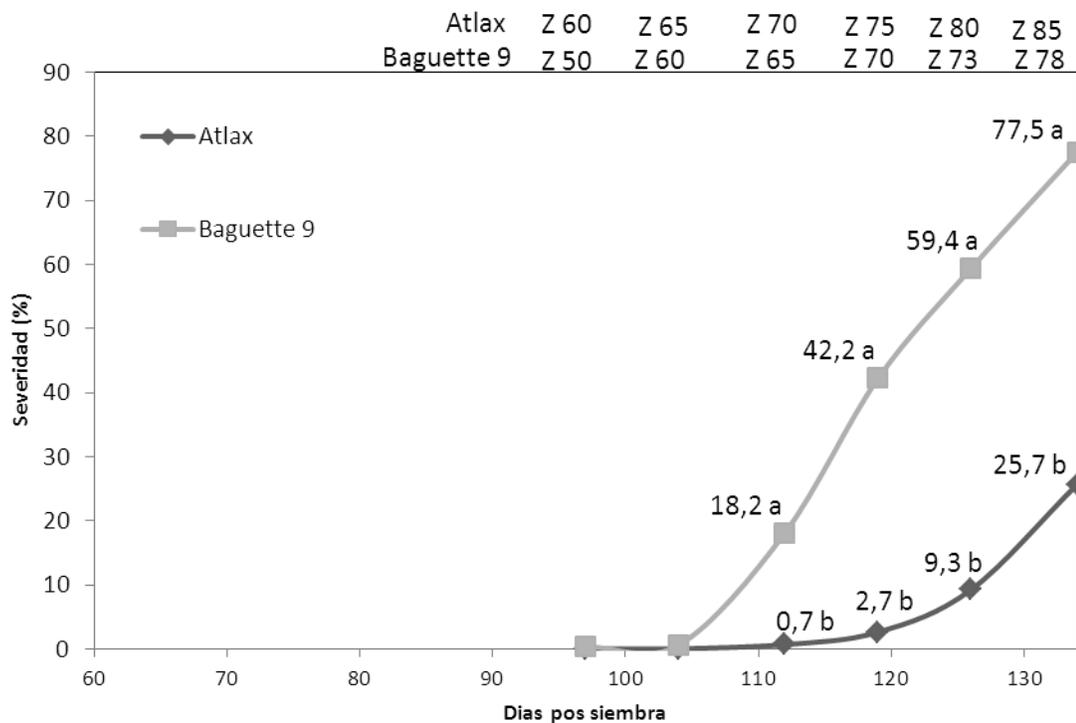


Figura No. 3: Evolución de la severidad de roya de la hoja promedio de los tratamientos testigos de cada cultivar evaluado. El estadio fenológico de cada uno de los cultivares evaluados se presenta en la parte superior de la figura. Valores con diferente letra dentro de cada estadio difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$)

Atlax presentó mejor comportamiento frente a roya de la hoja que Baguette 9, lo cual se refleja en la tasa de desarrollo promedio de la epidemia en cada uno de los cultivares (2,09 y 0,69% de severidad/día para Baguette 9 y Atlax respectivamente).

En Baguette 9, la aplicación tardía mostró una disminución del nivel de severidad, sin embargo al final del ciclo, alcanzó igual nivel de severidad que el tratamiento testigo. La aplicación temprana respecto al desarrollo de la epidemia, logró disminuir los niveles de severidad a la mitad, respecto a la aplicación tardía y al tratamiento testigo, sin embargo no logró disminuir los niveles de severidad a los niveles del tratamiento protegido. El fungicida

utilizado no marcó diferencias cuando fueron aplicados en el mismo momento. El tratamiento protegido no superó el 5% de severidad independientemente del fungicida utilizado (Figura No.4) (ver ANEXOS).

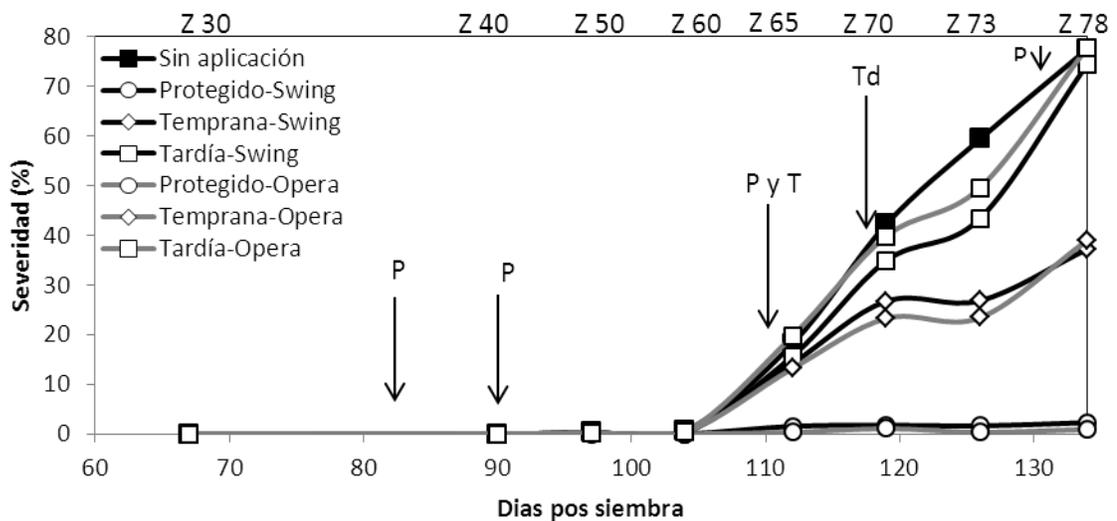


Figura No. 4: Evolución de la severidad de roya de la hoja según tratamiento en el cultivar Baguette 9. El estado fenológico del cultivo se presenta en la parte superior de la figura. Nota: Las flechas indican los momentos de aplicación de cada tratamiento: P=tratamiento protegido, T=tratamiento con aplicación temprana y Td=tratamiento con aplicación tardía.

En Atlax, la aplicación temprana logró igualar al tratamiento protegido en el nivel de severidad de roya de la hoja y no superaron el 5% de severidad independientemente del fungicida utilizado. El nivel de severidad logrado en aplicación tardía, dependió del fungicida, siendo Opera el que logró controlar el desarrollo de la enfermedad, con respecto a Swing a final del ciclo del cultivo (Figura No. 5) (ver ANEXOS).

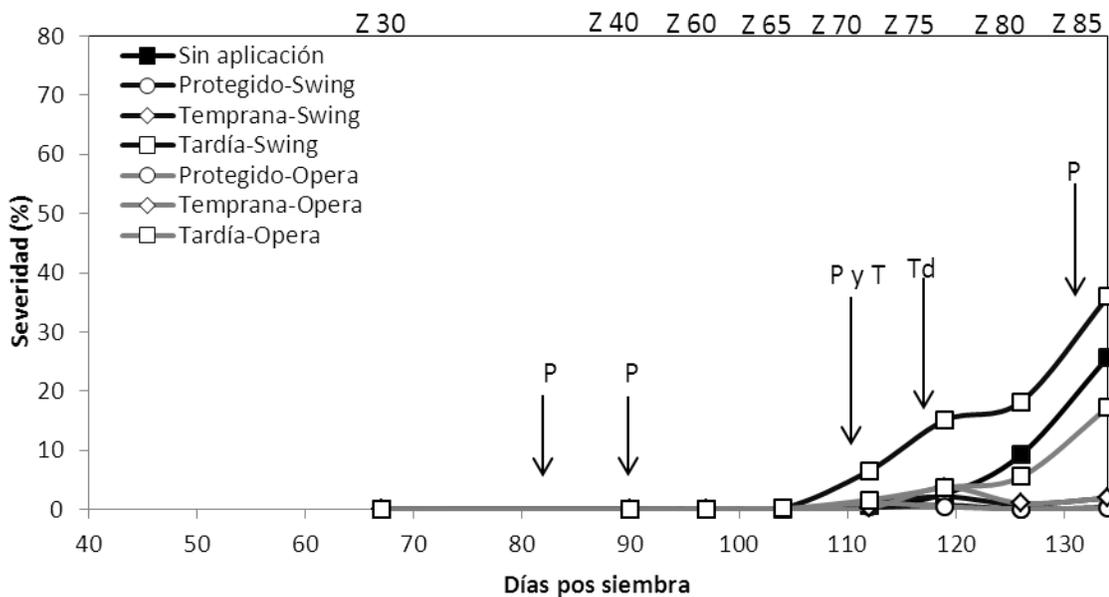


Figura No. 5: Evolución de la severidad de la roya de la hoja según tratamiento en el cultivar Atlax. El estado fenológico del cultivo se presenta en la parte superior de la figura. Nota: Las flechas indican los momentos de aplicación de cada tratamiento: P=tratamiento protegido, T=tratamiento con aplicación temprana y Td=tratamiento con aplicación tardía.

El momento de aplicación de fungicidas afectó significativamente la evolución de la severidad en todas las lecturas sanitarias evaluadas ($p < 0,0001$). Únicamente en la lectura efectuada en Z 50 no tuvo efectos significativos ($p = 0,00753$). La aplicación tardía de fungicida, no logró disminuir los niveles de severidad, respecto al tratamiento testigo en todas las lecturas efectuadas. El tratamiento con aplicación temprana, logró disminuir el nivel de severidad durante el llenado de grano (Z 73-80 y Z 78-85), respecto al tratamiento con aplicación tardía y al testigo (Figura No. 6) (ver ANEXOS).

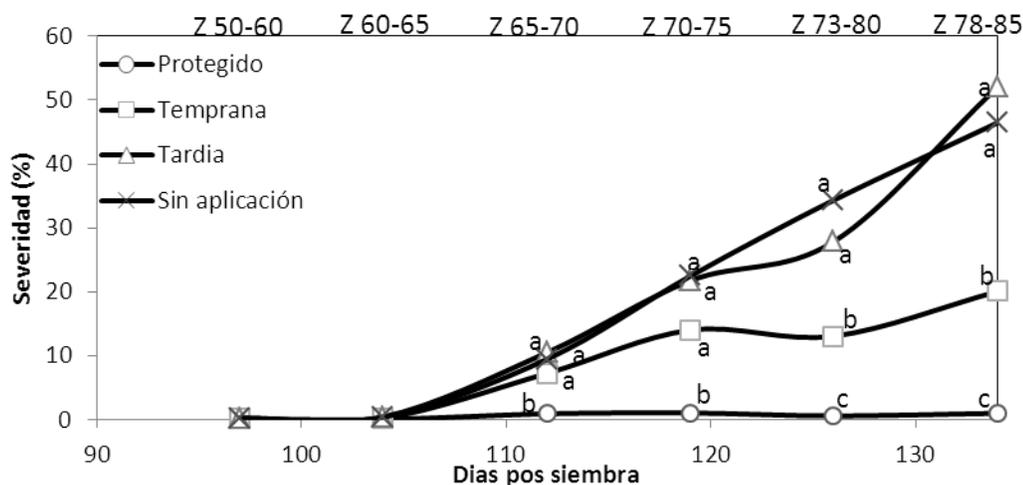


Figura No. 6: Evolución de la severidad de roya de la hoja según momento de aplicación de fungicidas. Valores promedios de ambos fungicidas y ambos cultivares evaluados. Valores con diferente letra dentro de cada rango de estadio fenológico difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$). Nota: en la parte superior de la figura se presenta un rango de estadios fenológicos ya que se trata del promedio de los dos cultivares evaluados.

La severidad a Z 73-80 fue afectada por la interacción entre el momento de aplicación y el cultivar evaluado ($p<0,05$). Únicamente Atlax, presentó diferencias entre aplicación temprana y tardía, siendo mayor la diferencia observada cuando el cultivo estaba en Z 85 (Cuadro No. 10).

Cuadro No.10: Severidad de roya de la hoja promedio según momento de aplicación de fungicidas para cada cultivar evaluado en el rango de estadios fenológicos Z 73-80 y Z 78-85. Valores promedio de ambos fungicidas.

Z 73-80	Protegido (%)	Temprana (%)	Tardía (%)	Sin aplicación (%)
Baguette 9	0,9 d	25,1 ab	46,5 a	59,4 a
Atlix	0,1 e	0,9 d	5,4 c	9,3 bc
Z 78-85	Protegido (%)	Temprana (%)	Tardía (%)	Sin aplicación (%)
Baguette 9	1,6 b	38,1 a	76,2 a	77,5 a
Atax	0,3 c	1,9 b	24,6 a	25,7 a

Valores con diferente letra dentro de cada estadio fenológico difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$). Nota: dentro de cada rango evaluado, el primer estadio corresponde a Baguette 9 y el segundo a Atlix.

Además de los niveles de severidad logrados por la roya de la hoja en cada uno de los tratamientos, se analiza la cantidad de enfermedad a lo largo del ciclo de cada cultivar estimada mediante el AUDPC. En Baguette 9, independientemente del fungicida utilizado, la aplicación temprana resultó en una reducción del 60% de enfermedad respecto al tratamiento testigo, mientras que la aplicación tardía no logró disminuir la cantidad de enfermedad a lo largo del ciclo, respecto al tratamiento sin fungicida (Figura No. 7).

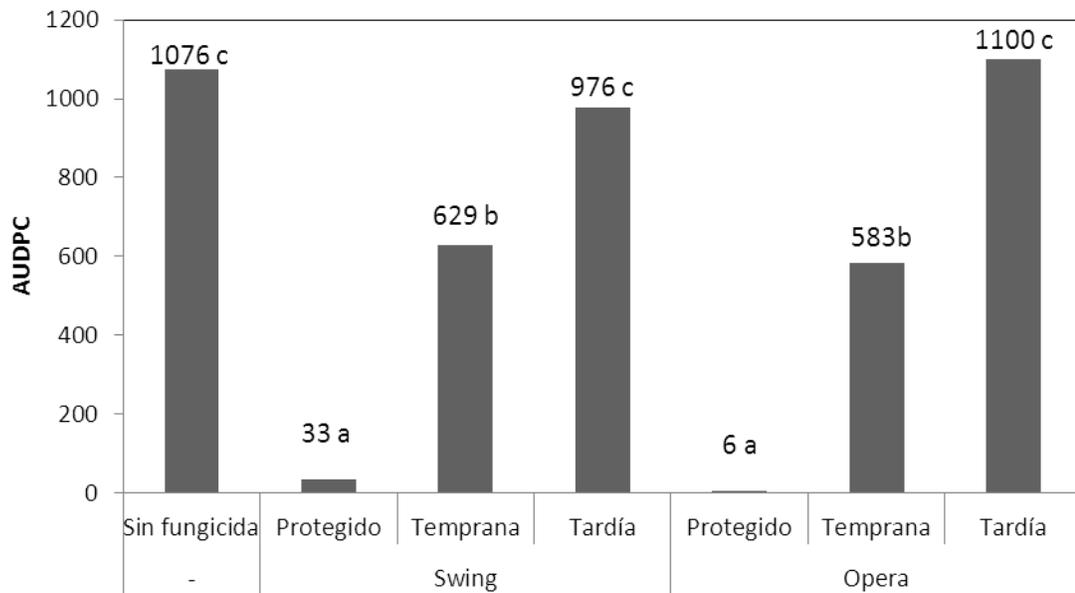


Figura No. 7: Cantidad de enfermedad a lo largo del ciclo del cultivo (estimada como Área Ubicada Debajo de la Curva de Progreso de la Enfermedad) según momento de aplicación y fungicida para Baguette 9. Valores con diferente letra difieren significativamente entre sí Tukey, ($p=0,05$, $CV=17$).

En Atlax, la cantidad de enfermedad observada con aplicación temprana y tardía dependió del fungicida utilizado. Para el caso de Swing, las aplicaciones tempranas lograron reducir la cantidad de enfermedad respecto al testigo sin aplicación, mientras que las aplicaciones tardías o las aplicaciones con Opera no lograron reducir la cantidad de enfermedad respecto al testigo (Figura No. 8).

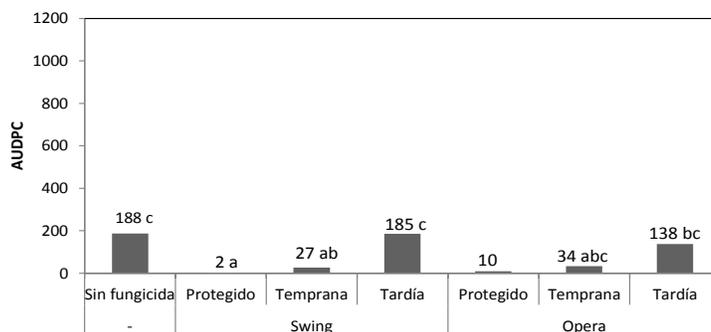


Figura No. 8: Cantidad de enfermedad a lo largo del ciclo del cultivo (estimada como Area Ubicada Debajo de la Curva de Progreso de la Enfermedad) según momento de aplicación y fungicida para Atlax. Valores con diferente letra difieren significativamente entre sí Tukey, ($p=0,05$, $CV=36\%$).

4.3. CRECIMIENTO DEL CULTIVO

Los tratamientos evaluados no marcaron diferencias significativas en el número de plantas/m a los 27 días pos siembra y en el número de macollos/m² a Z 30.

Baguette 9, presentó en el promedio de los tratamientos mayor población que Atlax (41 y 37 respectivamente).

4.3.1 Producción de biomasa aérea (en materia seca)

La acumulación de materia seca a Z 30 fue afectada únicamente por el cultivar ($p=0,0007$), siendo de 2149 Kg/ha y 3333 Kg/ha para Baguette 9 y Atlax, respectivamente.

Los tratamientos evaluados no marcaron diferencias en la producción de materia seca a Z 30, Z 65 y cosecha (Figura No. 9 y No. 10) (ver ANEXOS).

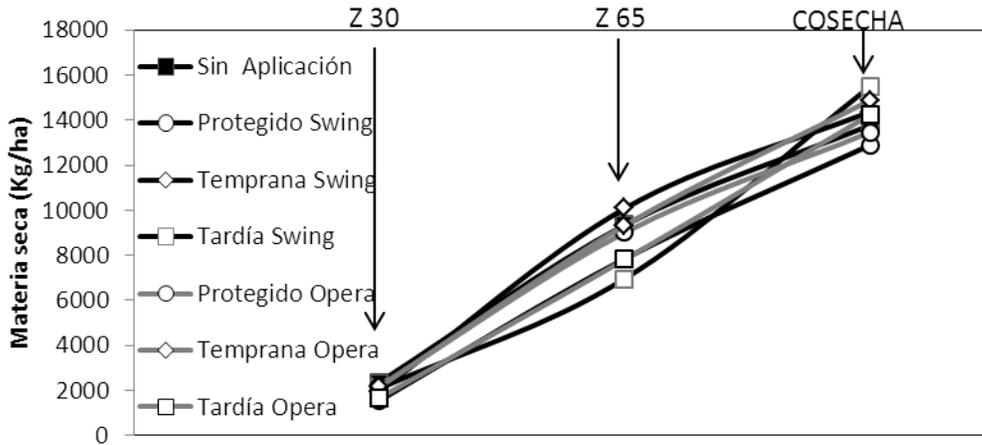


Figura No. 9: Producción de materia seca a Z 30, Z 65 y cosecha según momento de aplicación y fungicida evaluados en Baguette 9.

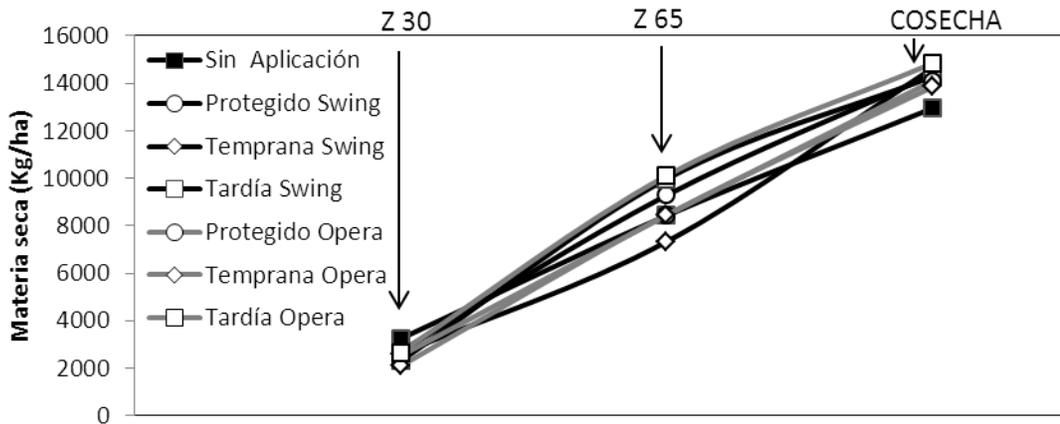


Figura No. 10: Producción de materia seca a Z 30, Z 65 y cosecha según momento de aplicación y fungicida evaluados en Atlax.

4.3.2 Número de hojas

Se contabilizó el número de hojas verdes promedio por tallo en cada lectura sanitaria para cada cultivar según el momento de aplicación y el fungicida utilizado, como una posible estimación de la duración del área foliar del cultivo.

En Baguette 9 a partir Z 73, el número de hojas vivas promedio por tallo fue afectado por la roya de la hoja, ya que el número de hojas vivas por tallo fue menor en el tratamiento sin aplicación de fungicida respecto al tratamiento protegido. Sin embargo el tratamiento testigo no se diferenció de las aplicaciones estratégicas (temprana y tardía) (Figura No. 11 y Cuadro No. 11).

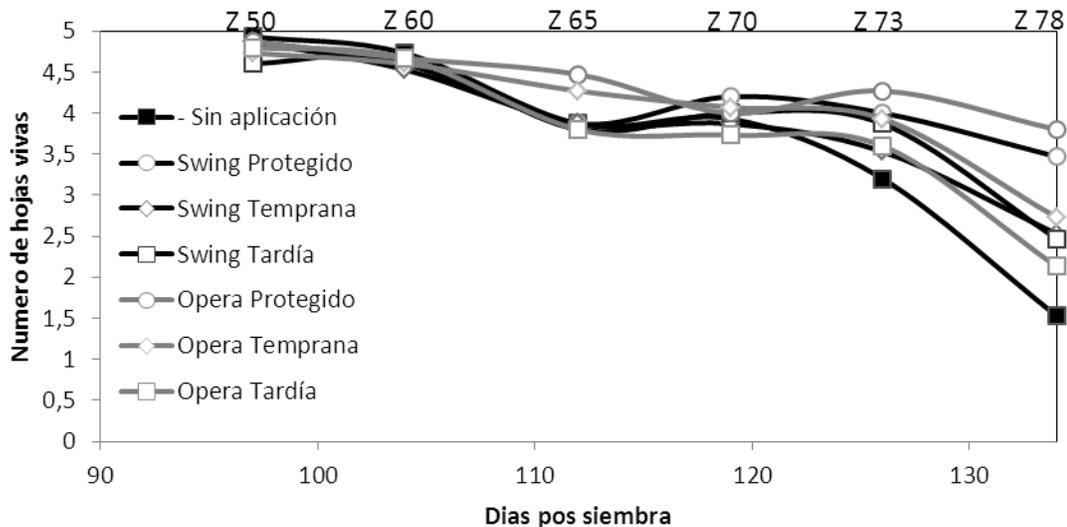


Figura No. 11: Evolución del número de hojas vivas por tallo según momento de aplicación y fungicida en Baguette 9. El estadio fenológico del cultivo se presenta arriba de la figura.

Cuadro No. 11: Número de hojas promedio por tallo según momento de aplicación y fungicida en los estadios fenológicos Z 73 y Z 78 en Baguette 9.

	Swing			Opera			-
	P	T	Td	P	T	Td	S/a
Z 73	4 a	3,5 ab	3,9 ab	3,5 a	2,5 ab	2,5 ab	3,2 b
Z 78	4,3 a	3,9 ab	3,6 ab	3,8 a	2,7 ab	2,1 ab	1,5 b

Valores con diferente letra difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$). Nota: Las letras corresponden a los momentos de aplicación de los fungicidas: S/a= tratamiento sin aplicación de fungicidas, P=tratamiento protegido, T=tratamiento con aplicación temprana y Td=tratamiento con aplicación tardía.

En Atlax, la duración del área foliar no fue afectado por la roya de la hoja, es decir, los tratamientos evaluados no tuvieron efecto significativo sobre el número de hojas vivas por tallo (Figura No. 12).

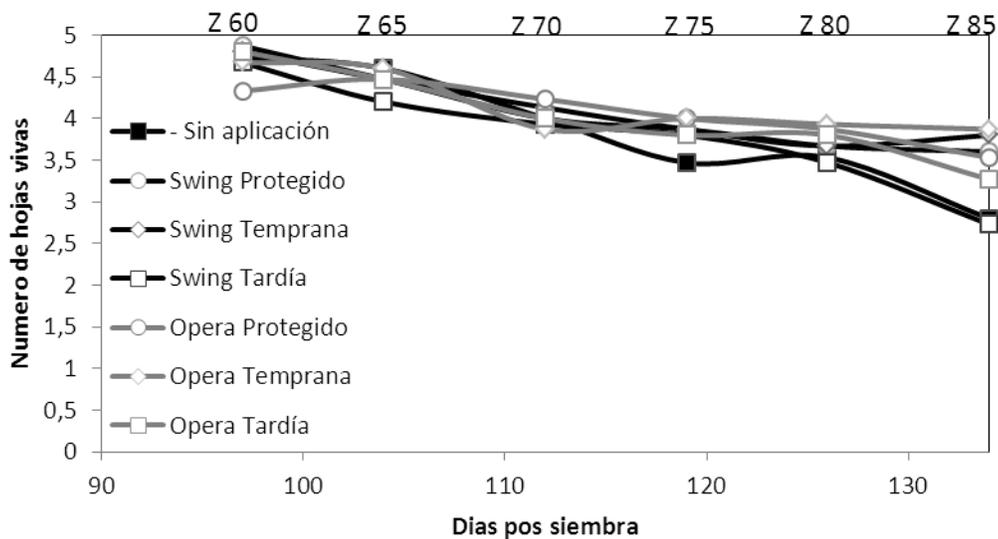


Figura No. 12: Evolución del número de hojas vivas por tallo según momento de aplicación y fungicida en Atlax. El estadio fenológico del cultivo se presenta en la parte superior de la figura.

4.3.3 Índice de verde

El índice de verde (IV) comenzó a diferenciarse en cada estrato evaluado a partir del llenado de grano (Z 70 en Baguette 9 y Z 75 en Atlax). El cultivar evaluado marcó diferencias significativas ($p < 0,0001$) en el IV, siendo Atlax el que presentó mayores valores, respecto a Baguette 9 en todos los estratos evaluados (Cuadro No. 12).

Cuadro No. 12: Índice de verde (IV) según cultivar evaluado y estrato del canopeo en los estadios fenológicos Z 70 y Z 75 para Baguette 9 y Atlax respectivamente. Valores promedio de los dos fungicidas y los tres momentos de aplicación, más el tratamiento testigo de cada cultivar.

	Baguette 9	Atlax
Estrato superior	3,81 b	4,45 a
Estrato medio	3,41 b	3,85 a
Estrato inferior	2,39 b	3,24 a

Valores con diferente letra dentro de la misma fila difieren significativamente entre sí (Tukey, $p = 0,05$).

Desde Z 70 hasta Z 73 en Baguette 9 y desde Z 73 a Z 80 en Atlax, el momento de aplicación de fungicidas fue el factor que marcó diferencias en el IV en cada uno de los estratos evaluados.

En el estadio fenológico Z 70 de Baguette 9 y Z 75 de Atlax, la enfermedad no afectó el índice de verde del cultivo tanto en el estrato superior como tampoco en el estrato medio, es decir, el tratamiento testigo alcanzó igual IV que el tratamiento protegido. Sin embargo, en el estrato inferior la enfermedad provocó una disminución en el IV al igual que la aplicación tardía únicamente en Baguette 9, no presentando diferencias el IV entre momentos de aplicación en Atlax. Las aplicaciones estratégicas (temprana y tardía) no lograron diferenciar el IV respecto al tratamiento testigo en todos los estratos. A su vez la aplicación temprana logró alcanzar el mismo IV que los tratamientos protegidos en todos los estratos, no siguiendo la misma tendencia la aplicación tardía, ya que el IV fue inferior respecto al tratamiento protegido en todos los estratos evaluados (Cuadro No. 13 y No.14).

Cuadro No. 13: Índice de verde del cultivo según estrato evaluado y momento de aplicación de fungicidas en el estadio fenológico Z 70 de Baguette 9 y Z 75 de Atlax. Valores promedio de ambos cultivares y ambos fungicidas.

	Protegido	Temprana	Tardía	Sin fungicida
Estrato superior	4,3 a	4,0 ab	3,9 b	4,2 ab
Estrato medio	3,8 a	3,4 ab	3,4 b	3,5 ab
Estrato inferior	3,2 a	2,9 ab	2,7 b	2,7 b

Valores con diferente letra dentro de la misma fila difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$).

Cuadro No. 14: Índice de verde (IV) en el estrato inferior del cultivo según cultivar evaluado y momento de aplicación de fungicidas en el estadio fenológico Z 70 de Baguette 9 y Z 75 de Atlax. Valores promedio de ambos fungicidas.

	Protegido	Temprana	Tardía	Sin fungicida
Baguette 9	2,3 ab	2,6 bc	2,3 c	2,2 c
Atlax	3,4 a	3,2 a	3,2 a	3,2 a

Valores con diferente letra dentro de la misma fila difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$).

En el estadio fenológico Z 73 de Baguette 9 y Z 80 de Atlax, la enfermedad logró disminuir el IV en todos los estratos, respecto al tratamiento protegido. La aplicación tardía no logró mantener el IV, ya que fue igual que el tratamiento sin aplicación y fue inferior al tratamiento protegido. Sin embargo, la aplicación temprana mantuvo igual IV en los primeros estratos, respecto al tratamiento protegido. En el estrato inferior la aplicación temprana mantuvo el IV, en valores por debajo del tratamiento protegido, pero fue superior al IV logrado cuando no hubo aplicación o la misma se realizó tardíamente (Cuadro No. 15).

Cuadro No. 15: Índice de verde (IV) del cultivo según estrato evaluado y momento de aplicación de fungicidas en el estadio fenológico Z 73 de Baguette 9 y Z 80 de Atlax. Valores promedio de ambos cultivares y ambos fungicidas.

	Protegido	Temprana	Tardía	Sin fungicida
Estrato superior	3,87 a	3,65 ab	2,71 bc	2,11 c
Estrato medio	2,91 a	2,60 a	1,49 b	1,13 b
Estrato inferior	1,88 a	1,04 b	0,29 c	0,17 c

Valores con diferente letra dentro de la misma fila difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$).

4.3.3 Ciclo del cultivo

Los tratamientos evaluados no afectaron los días necesarios para llegar a madurez fisiológica.

Atlax fue más precoz que Baguette 9 y el 100% de las plantas llegaron a madurez fisiológica cuando solo el 50% de las plantas de Baguette 9 habían alcanzado dicho estadio ($p<0,0001$) (Cuadro No. 16).

Cuadro No 16: Largo de ciclo según cultivar evaluado. Valores expresado en días pos siembra a 50% y 100% de espigas en madurez fisiológica.

Cultivar	50% Madurez fisiológica (dps)	100% Madurez fisiológica (dps)
Baguette 9	148 a	152 a
Atlax	144 b	148 b

Valores con diferente letra dentro de la misma columna difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$).

4.3.5 Indice de cosecha

Ninguno de los factores evaluados en el experimento ni la interacción de los mismos tuvo efectos significativos en el índice de cosecha.

La aplicación de fungicidas no modificó la proporción de fotoasimilados que fueron transportados el grano.

4.4 RENDIMIENTO EN GRANO Y SUS COMPONENTES

El rendimiento en grano fue afectado significativamente por la aplicación de fungicidas y por la interacción existente entre cultivar y aplicación de fungicidas, siendo únicamente en Baguette 9 que la aplicación de fungicidas tuvo efectos (Cuadro No. 17). Tal es así que la enfermedad provocó pérdidas de 30% (1800 Kg/ha) del rendimiento potencial de Baguette 9 (tratamiento protegido respecto al tratamiento testigo) (Cuadro No. 18 y No. 19).

Por otra parte, el rendimiento en Baguette 9, fue afectado por la interacción entre el momento de aplicación y el fungicida utilizado. Cuando el fungicida utilizado fue Opera, el rendimiento fue independiente del momento en que el fungicida fue aplicado, sin embargo cuando el fungicida utilizado fue Swing, el rendimiento dependió del momento en que fue aplicado. Tal es así, que la aplicación tardía con Swing provocó pérdidas del rendimiento potencial del cultivo cercanas al 30% (Cuadro No. 18 y No. 19).

Cuadro No. 17: Resultado de la probabilidad ($Pr > F$) del efecto cultivar, fungicida, momento de aplicación y sus interacciones para la variable rendimiento en grano (Kg/ha).

	Pr > F
Enfermo	0,001
Cultivar	0,445
Enfermo*Cultivar	0,001
Fungicida	0,788
Momento	0,006
Fungicida*Momento	0,040
Cultivar*Fungicida	0,646
Cultivar*Momento	0,008
Cultivar*Fungicida*Momento	0,843

Nota: “Enfermo” se le llama al análisis entre el tratamiento sin aplicación de fungicidas vs el resto de los tratamientos con fungicidas, ya que al ser el testigo un tratamiento adicional al factorial, el análisis debió ser anidado.

Cuadro No. 18: Rendimiento en grano según momento de aplicación y fungicida para Baguette 9.

Momento	Fungicida	Rendimiento (Kg/ha)
Sin	fungicida	4445 c
Protegido	Swing	6572 a
Temprana	Swing	5578 ab
Tardía	Swing	5062 bc
Protegido	Opera	5752 ab
Temprana	Opera	5853 ab
Tardía	Opera	5193 bc

Valores con diferente letra difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$). Nota: los valores de rendimiento observados de cada tratamiento fueron corregidos al 12% de humedad.

Cuadro No. 19: Rendimiento en grano según momento de aplicación y fungicida para Atlax.

Momento	Fungicida	Rendimiento (Kg/ha)
Sin	fungicida	5395 bc
Protegido	Swing	5486 abc
Temprana	Swing	5410 bc
Tardía	Swing	5234 bc
Protegido	Opera	5111 bc
Temprana	Opera	5636 ab
Tardía	Opera	5400 bc

Valores con diferente letra difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$). Los valores de rendimiento observados de cada tratamiento fueron corregidos al 12% de humedad.

Los resultados obtenidos, demuestran que en Baguette 9 la roya de la hoja no permitió expresar su rendimiento potencial, lo cual se demuestra mediante la correlación significativa entre el nivel de severidad final de roya de la hoja y la cantidad de enfermedad a lo largo del ciclo del cultivar ($p=0,0003$ y $0,0002$) (Figura No. 13 y No. 14).

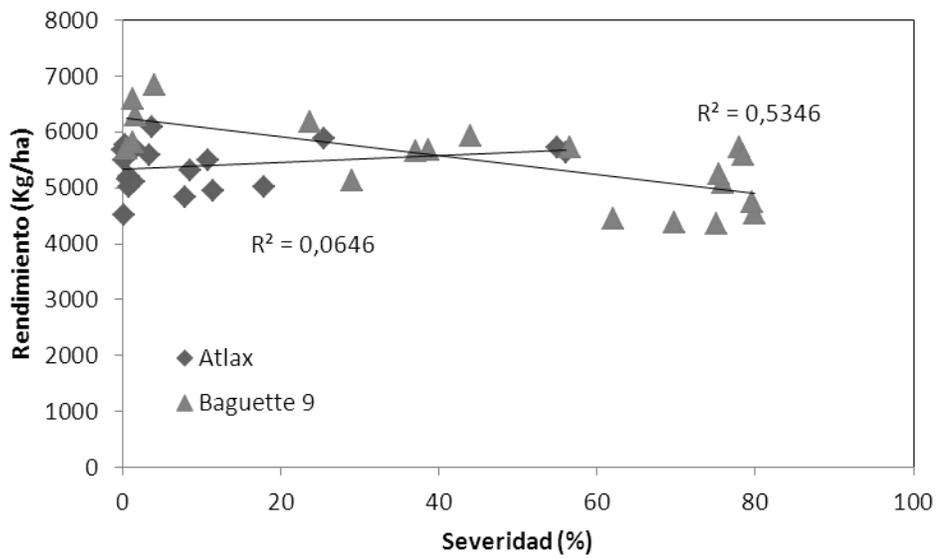


Figura No. 13: Relación entre el nivel de severidad final de roya de la hoja y el rendimiento en grano de todos los tratamientos y sus repeticiones para Baguette 9 y Atlax.

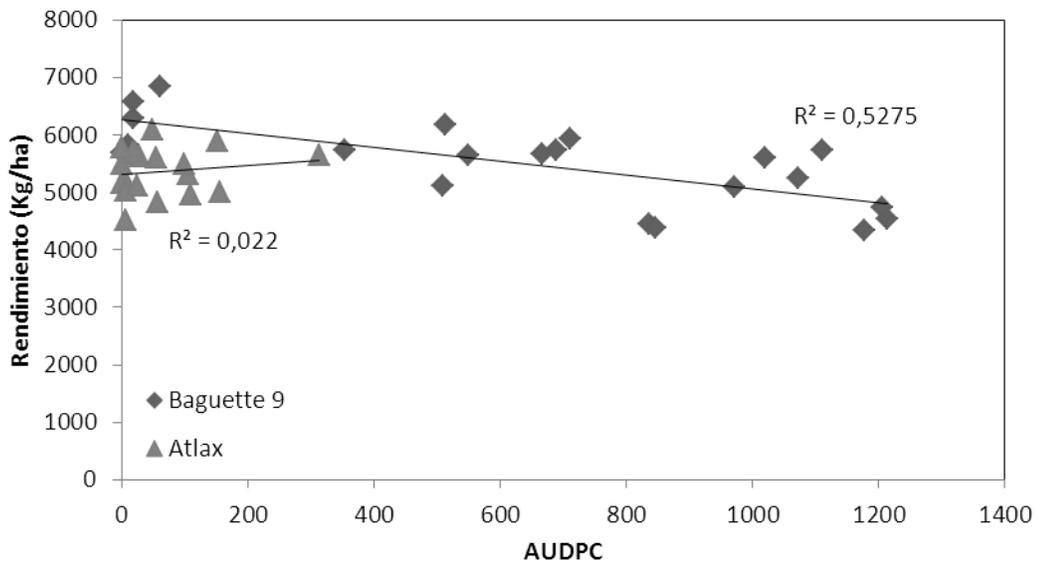


Figura No. 14: Relación entre la cantidad de enfermedad (estimada como AUDPC) y rendimiento de todos los tratamientos y sus repeticiones para Baguette 9 y Atlax.

4.4.1 Componentes de rendimiento

4.4.1.1 Numero de granos/m² (NG/m²)

Los factores evaluados en el experimento y sus interacciones no presentaron efectos significativos en el NG/m² en cada uno de los cultivos evaluados, lo cual podría estar explicado por un error en la estimación de dicho componente (Cuadro No. 20).

Cuadro No. 20: Numero de granos/m² según fungicida y momento de aplicación de fungicidas para Baguette 9 y Atlax.

Momento	Fungicida	Baguette 9	Atlax
Sin aplicación		9888 ab	11796 ab
Protegido	Swing	11945 ab	15599 a
Temprana	Swing	9802 ab	13093 ab
Tardía	Swing	11190 ab	13388 ab
Protegido	Opera	13754 ab	14134 ab
Temprana	Opera	7916 b	12615 ab
Tardía	Opera	11075 ab	13055 ab

Valores con diferente letra difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$).

A pesar de que Atlax, presenta mayor NG/m² respecto a Baguette 9 en los tratamientos con aplicación de fungicidas (13643 y 10983 respectivamente), no presentó una asociación significativa con el rendimiento, al igual que Baguette 9 (Figura No. 15).

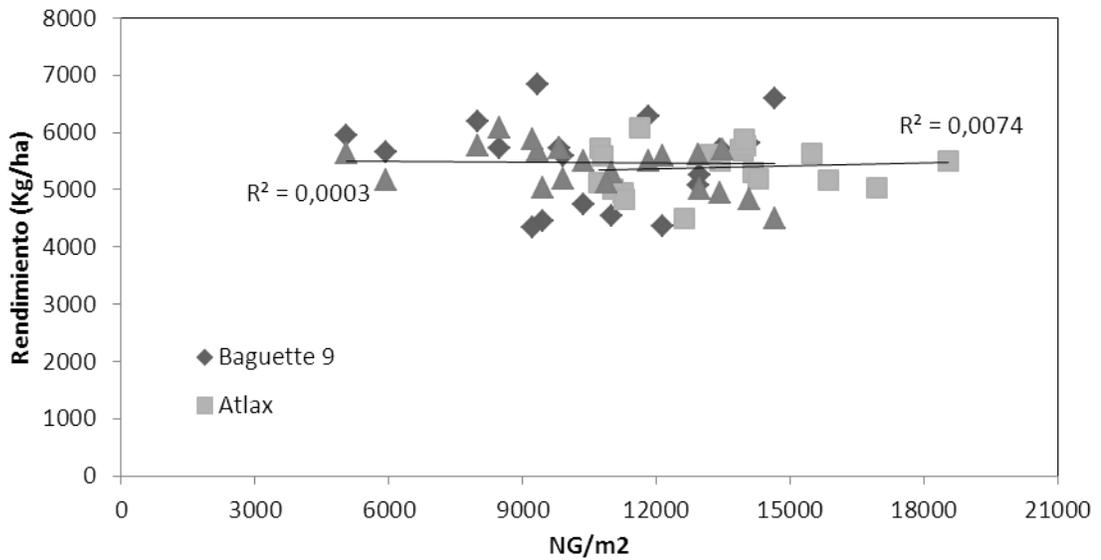


Figura No. 15: Relación entre el número de granos por unidad de superficie (m^2) y rendimiento de todos los tratamientos y sus repeticiones para Baguette 9 y Atlax.

4.4.1.2 Peso de grano (PMG)

El PMG no fue afectado por los factores involucrados en el experimento y sus interacciones, lo cual podría deberse en un error de estimación al igual que el NG/m^2 (Cuadro No. 21).

Cuadro No. 21: Peso de grano según fungicida y momento de aplicación de fungicidas para Baguette 9 y Atlax.

Momento	Fungicida	Baguette 9	Atlax
Sin	aplicación	33 a	34,38 a
Protegido	Swing	41 a	33,40 a
Temprana	Swing	35 a	32,71 a
Tardía	Swing	35 a	33,50 a
Protegido	Opera	41 a	31,06 a
Temprana	Opera	43 a	33,70 a
Tardía	Opera	38 a	34,29 a

Valores con diferente letra difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$).

Al igual que lo que sucedió con el NG/m^2 , el PMG no mostró una asociación significativa con el rendimiento en ninguno de los cultivares evaluados (Figura No. 16).

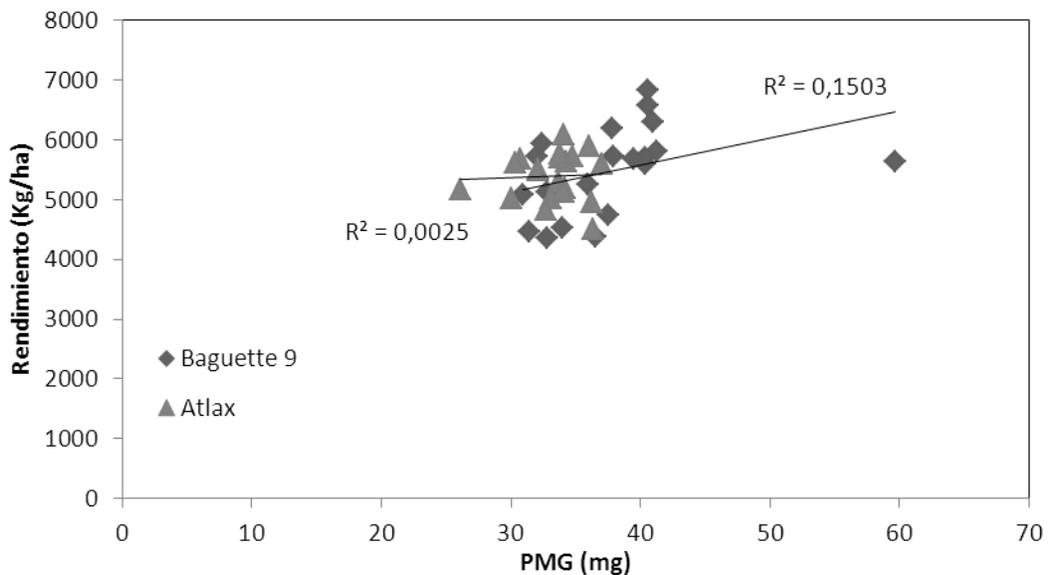


Figura No. 16: Relación entre el peso de mil granos (PMG) y el rendimiento de todos los tratamientos y sus repeticiones para Baguette 9 y Atlax.

Sin embargo, en Baguette 9, el llenado de grano estuvo afectado por el la roya de la hoja, lo cual se demuestra mediante la asociación significativa ($p=0,0259$) entre el nivel de severidad observado a mitad de llenado de grano (estadio fenológico Z 73) y el PMG ($R^2= 0,246$), a diferencia de Atlax el cual no mostró asociación entre dichas variables (Figura No. 17).

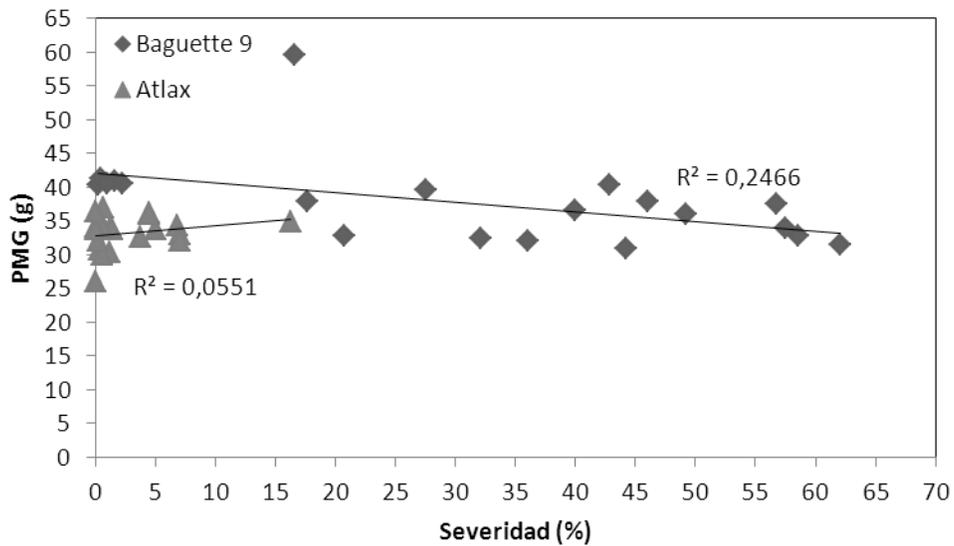


Figura No. 17: Relación entre nivel de severidad observado de roya de la hoja a mitad de llenado de grano y el peso de mil granos (PMG) de todos los tratamientos y sus repeticiones para Baguette 9 y Atlax.

La capacidad fotosintética del estrato superior del cultivo a mediados de llenado de grano no afectó la cantidad de fotoasimilados que fueron transportados al grano, lo cual se demuestra mediante la falta de asociación entre el IV del estrato superior observado a Z 70 en Baguette 9 y a Z 75 en Atlax y el PMG de ambos cultivares (Figura No. 18).

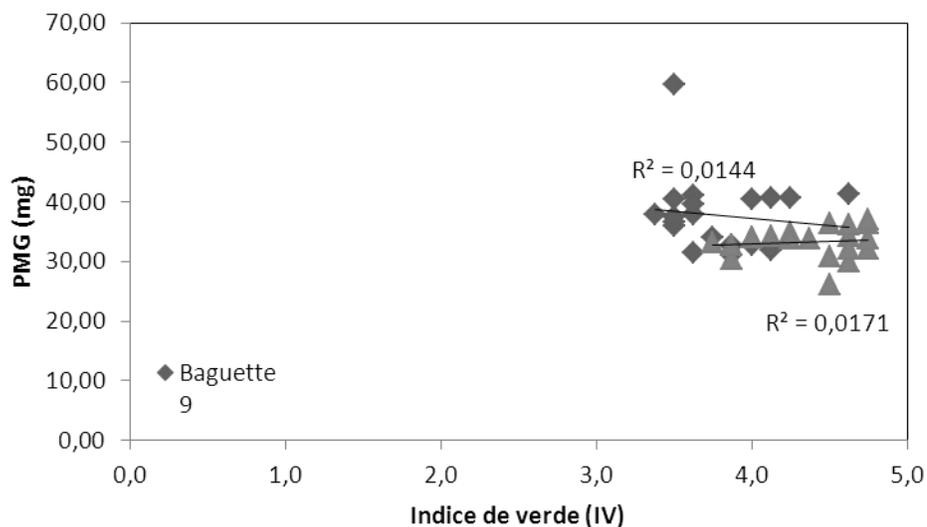


Figura No. 18: Relación entre la capacidad fotosintética del estrato superior del cultivo (estimado a través de un índice de verde) en el estadio fenológico Z 70 de Baguette 9 y Z 75 de Atlax y el peso de mil granos (PMG).

4.5 CALIDAD

4.5.1 Peso hectolítrico

El peso hectolítrico fue afectado únicamente por el cultivar ($p < 0,0001$).

Los valores obtenidos para Atlax en promedio de todos los tratamientos fue de 73 Kg/hl (a) y para Baguette 9 de 69 Kg/hl (b).

Cabe destacar, que el peso hectolitrico no fue afectado por las aplicaciones de fungicidas en ninguno de los cultivares evaluados (Figura No. 19).

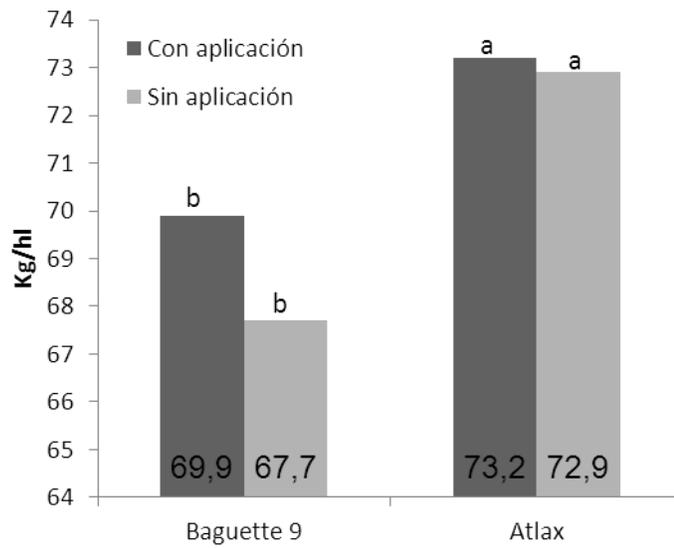


Figura No. 19: Peso hectolítrico promedio según aplicación de fungicidas y cultivar evaluado. Valores con diferente letra difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$).

5. DISCUSIÓN

La epidemia de roya de la hoja tuvo un desarrollo diferencial en ambos cultivares. En Baguette 9 la enfermedad alcanzó niveles máximos de infección del 80%, mientras que Atlax llegó a un máximo de infección del 36%. Este comportamiento coincide con el comportamiento caracterizado por Castro et al. (2006), Castro et al. (2008). Baguette 9 es altamente susceptible frente a roya de la hoja, mientras que Atlax mostró mayor grado de resistencia a la misma. Esto es adjudicado a que, según German et al. (2010), Baguette 9 presenta susceptibilidad a un mayor número de razas de *Puccinia triticina*, respecto a Atlax (Cuadro No. 22). A su vez, en el año 2009 las razas predominantes, esto es, con frecuencia mayor a 10%, aisladas en Uruguay, fueron aquellas que atacan únicamente a Baguette 9 y las que atacan a Atlax se presentaron con una baja frecuencia de su población (Figura No. 20) (German et al., 2010).

Cuadro No. 22: Tipo de infección de los cultivares evaluados frente a 12 razas de *Puccinia triticina*.

Raza <i>Puccinia triticina</i>	Baguette 9	Atlax
CHT ^B	3 +	
MCD-10,20	4	
MDR-10,20	4	23
MFR-10,20	3 +	
MDP	4,2	
MDP-10,20	3 +	
MFP,10-20	4	
MFP-20	3	
MDT-10,20	4	
MFT-10,20	4	3

MMD-10,20	4,2	
TPR-20	3 +	

Fuente: Germán et al. (2010). Nota: Tipo de infección: 0-2 (puntos necróticos sin esporulación); 3-4 (susceptible). Las celdas sin número corresponden a las razas que no afectan el cultivar.

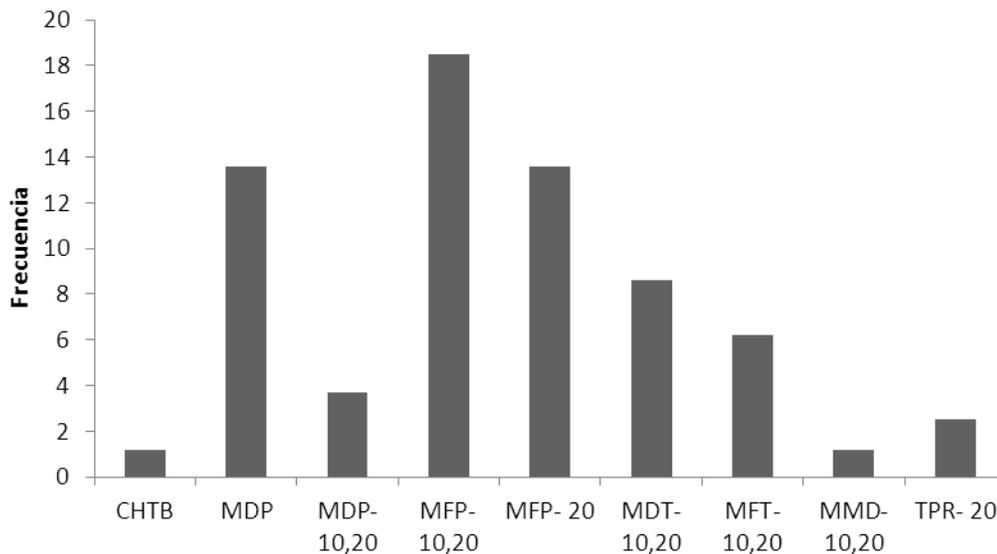


Figura No. 20: Frecuencia de razas de *Puccinia triticina* en Uruguay para el año 2009.

El momento de aplicación de fungicidas afectó el desarrollo de la epidemia. Tal es así, que en Baguette 9 la aplicación temprana respecto al desarrollo de la epidemia, logró disminuir a la mitad el nivel de severidad final, respecto al tratamiento testigo y a la aplicación tardía. Este resultado coincide con lo expuesto por Viero (2008), quien expuso que, para cultivares susceptibles, el tratamiento químico debe ser realizado cuando aparecen las primeras pústulas del hongo, y/o preventivamente cuando las condiciones climáticas son favorables para la enfermedad.

Carmona (2008), mencionó que en muchas oportunidades el momento de aplicación de fungicidas se puede considerar más importante que el

producto químico utilizado para controlar la epidemia, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el experimento, en donde el fungicida utilizado no marcó diferencias en los niveles de severidad logrados dentro de un mismo momento de aplicación, pero si lo hizo el momento en que fueron aplicados

En Baguette 9, la cantidad de enfermedad lograda a lo largo del ciclo del cultivar dependió del momento de aplicación, evidenciando una vez más lo expuesto por Carmona (2008). Tal es así, que la aplicación temprana con ambos fungicidas respecto al desarrollo de la epidemia permitió disminuir la cantidad de enfermedad, respecto al tratamiento sin aplicación y a la aplicación tardía, lo cual coincide con los resultados expuestos por Astegiano y Villar (2004), quienes dedujeron que las aplicaciones tempranas presentan los mejores resultados en protección. Sin embargo, los resultados indican que en un cultivar altamente susceptible no es posible, tener un buen control de la epidemia aunque se realice una aplicación temprana con respecto al desarrollo de la misma.

En un cultivar con resistencia a la enfermedad, como lo es Atlax, una aplicación temprana respecto al desarrollo de la epidemia, permite mantener la misma cantidad de enfermedad que el tratamiento protegido, lo cual coincide con lo expuesto por German et al. (2010), en que los fungicidas presentan mayor eficiencia cuando son utilizados en cultivares con mejor comportamiento frente a aquellos con alto nivel de susceptibilidad.

En Atlax (cultivar resistente), la aplicación temprana disminuyó la cantidad de enfermedad, a excepción de Opera que no se diferenció del testigo. Según Formento (2007c), Pereyra y Díaz de Ackerman (2007), Azevedo, citado por Viero (2008), las estrobilurinas y triazoles presentan diferentes momentos de acción; los primeros inhiben la germinación de las esporas, el desarrollo del tubo germinativo y la formación del micelio, y los triazoles actúan luego de ocurrida la infección, inhibiendo la esporulación del patógeno. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, era de esperar que no existan diferencias entre momentos de aplicación con Opera, ya que dicho producto inhibe la infección, a diferencia del triazol que actúa una vez ocurrida la infección, por tanto es de suma importancia el momento de aplicación cuando son usados los últimos.

La aplicación tardía no logró controlar la cantidad de enfermedad ni tampoco el desarrollo de la severidad en ambos cultivares lo largo del ciclo, lo

cual demuestra el alto potencial de producción de inoculo del patógeno (3000 esporas/ uredinio) cuando las condiciones son óptimas y constantes, lo que permite que las epidemias puedan progresar rápidamente, tal como lo indicaron Roelfs et al. (1992), Carmona (2008).

La producción de biomasa en Z 30, Z 65 y cosecha no fue afectada por la roya de la hoja. Tanto en Z 30 como en Z 65, era de esperar que la enfermedad no tuviera efectos en la producción de biomasa área, ya que se presentó con valores por encima del 1% de severidad a partir de Z 65 (anthesis). Sin embargo el efecto del cultivar tuvo efectos significativos a Z 30, lo cual podría adjudicarse al tamaño de planta; Atlax se caracteriza por tener un tamaño de planta mayor que Baguette 9 según UDELAR (URUGUAY). FA (2008), lo cual resulto en mayor producción de biomasa aérea para el primero. La producción de biomasa a cosecha, era de esperar que fuera afectada por la presencia de la enfermedad tal como fue expuesto por Roelfs et al. (1992), quienes indican que las pérdidas en rendimiento podría estar adjudicadas a una reducción en la producción de biomasa, sin embargo en este experimento la presencia de roya de la hoja no afectó dicha variable.

La duración del área foliar fue afectada por la roya de la hoja únicamente en el cultivar de comportamiento susceptible (Baguette 9), lo cual coincide con lo expuesto por Carretero et al. (2010), quienes encontraron que las enfermedades producidas por patógenos que se diseminan por viento tienen la capacidad de colonizar estratos superiores del canopy, lo cual provoca una disminución en la radiación interceptada y absorbida, por medio de una reducción en el área foliar verde. Sin embargo, en Atlax no se encontraron reducciones en la duración del área foliar, lo cual podría estar adjudicado a los bajos niveles de severidad y cantidad de roya de la hoja a lo largo del ciclo que presentó dicho cultivar.

La capacidad fotosintética del cultivo a partir de llenado de grano (Z 70) (estimada a través de un índice de verde), estuvo afectada por el momento de aplicación de los fungicidas. Tal es así, que la aplicación tardía presentó menor índice de verde en los tres estratos evaluados respecto al tratamiento protegido. Bassanezi et al. (2002), determinaron una disminución en la tasa de fotosíntesis neta a medida que el nivel de severidad de la enfermedad aumenta ($R^2= 0,97$), lo cual podría explicar los resultados obtenidos en el experimento, ya que los

valores de severidad del tratamiento con aplicación tardía fueron superiores a los valores de severidad del tratamiento protegido, en ambos cultivares.

Según Szikaki et al., citados por Bassanezzi et al. (2002) esta reducción en la fotosíntesis es explicada por alteraciones en el cloroplasto y reducciones en el contenido de clorofila en hojas enfermas.

Desde otro punto de vista, la menor capacidad fotosintética del cultivo (menor índice de verde) provocada por la enfermedad en el tratamiento sin fungicida (testigo), se podría explicar a su vez por una reducción en la duración del área foliar en dicho tratamiento respecto al tratamiento protegido, tal como fue expuesto por Livne, Raggi, Boote et al., Bastiaans, Shtienberg, Bassanezi et al., citados por Bassanezi et al. (2002), Leyva-Mir et al. (2003), quienes indican que la infección por roya de la hoja reduce la tasa de fotosíntesis debido a una disminución en el área foliar y la eficiencia fotosintética del resto de la zona verde.

Según Venancio et al. (2003), las estrobilurinas inhiben la biosíntesis de etileno, lo cual se relaciona con el retraso de la senescencia de las hojas y en consecuencia, a la prolongada actividad fotosintética de los tejidos verdes, lo cual se contradice con los resultados obtenidos en este experimento, ya que el fungicida utilizado no tuvo efectos significativos en la duración del área foliar ni tampoco en el índice de verde en ninguno de los cultivares evaluados.

El largo del ciclo de los cultivares coincide con los datos obtenidos por Castro et al. (2006), Castro et al. (2008). El promedio de los ensayos realizados para los dos cultivares indican que el largo de ciclo desde la pos emergencia a espigazón es de 5 días más para Baguette 9, respecto a Atlax

Las pérdidas ocasionadas por la enfermedad en Baguette 9 fueron de 30%, resultado que coincide con Roelfs et al. (1992), Leyva-Mir et al. (2003), Villar y Cencig (2004), quienes mencionan que las pérdidas en rendimiento causadas por *P. triticina* rondan entre el 10 y el 30% del potencial del cultivo, a diferencia de Germán (2007) quien reporta que las pérdidas en rendimiento pueden ser superiores al 50% en cultivares susceptibles si no se utiliza control químico. A su vez, Castellarín (2010) reporta diferencias en rendimiento de 698 Kg/ha a favor del tratamiento libre de la enfermedad (siempre tratado químicamente) en comparación con testigos sin tratamiento, lo cual no coincide con los datos obtenidos en este experimento debido a que son experimentos

evaluados en diferentes ambientes (1800 Kg/ha a favor del tratamiento protegido en comparación con el tratamiento sin aplicación),

Sin embargo, en Atlax la enfermedad no provocó pérdidas en rendimiento, lo cual se podría adjudicar a que en dicho cultivar el desarrollo de la epidemia no fue exitoso, debido al control ejercido mediante la resistencia genética (German, 2007).

La aplicación de fungicidas tuvo efectos significativos en el rendimiento de Baguette 9. Los resultados obtenidos en el experimento indican que la aplicación con fungicidas permitió disminuir las pérdidas ocasionadas por la enfermedad en 21% (1244 Kg/ha), lo cual coincide con lo reportado por Cátedra y Solís (2003), quienes observaron un aumento en el rendimiento desde 651 a 1410 Kg/ha cuando los trigos fueron tratados en comparación con los testigos sin fungicida. La aplicación temprana logró reducir las pérdidas ocasionadas por la enfermedad en un 30%, debido al mayor control de la roya de la hoja, en términos de nivel de severidad y cantidad de enfermedad. Astegiano y Villar (2004), indican que los mejores resultados en incremento de rendimiento de las aplicaciones frente a tratamientos sin aplicación de fungicidas y/o con aplicación tardía.

Se observó una asociación significativa entre el rendimiento y el nivel de severidad final de roya de la hoja y el AUDPC ($R^2=0,53$ y $0,54$ respectivamente) únicamente en Baguette 9, lo cual coincide con lo expuesto por Formento y de Souza (2007b), quienes encontraron una fuerte asociación entre el nivel de severidad final de roya de la hoja y el AUDPC con el rendimiento.

El NG/m² no fue afectado por la presencia de roya de la hoja. Según (Abbate et al., citados por Milisich et al., 2007) este componente se establece durante el PCC (comprendido entre unos 20 días antes de la antesis, hasta 10 días después de la misma), por tanto, era de esperar que la epidemia no afectará el establecimiento del número de flores fértiles ya que comenzó a manifestarse tarde en el ciclo de cultivo, a partir de Z 65. Este resultado podría ser justificado con los datos propuestos por Leyva-Mir et al. (2003), quienes indican que la presencia de roya de la hoja en etapa de embuche no afecta el número de granos/m² debido a que dicho componente ya está definido en la fisiología del cultivo cuando se presenta la enfermedad.

Este componente (NG/m^2) según Abbate et al., citados por Solis et al. (2004) es el que presenta correlación más alta con el rendimiento. Sin embargo, los resultados obtenidos en el experimento no mostraron correlación significativa en ninguno de los cultivares evaluados.

El PMG, no fue afectado por la presencia de roya de la hoja, ya que los tratamientos no presentaron diferencias significativas entre ellos, lo cual coincide con Astegiano y Villar (2004), quienes observaron que las aplicaciones tempranas (hoja bandera) de fungicidas presentan los mejores resultados tanto en protección como en incremento de rendimiento en relación a un testigo sin aplicación, sin embargo el PMG no es significativamente diferente. Formento (2007c), Formento y de Souza (2007b), Castellarín (2010), encontraron que el mayor rendimiento de tratamientos tratados con fungicidas en relación a tratamientos sin aplicación de fungicidas, se debe a un incremento en el PMG, lo cual no coincide con los resultados obtenidos.

Fue únicamente en Baguette 9 que el nivel de severidad de roya de la hoja medido a Z 73 presentó una asociación significativa con el PMG, tal como fue expuesto por Formento y de Souza (2007b) quienes encontraron una asociación fuertemente negativa entre nivel de severidad final y PMG ($R^2 = 0,886$).

Gooding et al., citados por Carretero et al. (2010) indicaron que las hojas superiores del canopeo son de particular importancia en la contribución del rendimiento de trigo, por estar más cerca de las espigas y con menor sombreado. Esto resulta en una mayor contribución de carbohidratos a la espiga, siendo la HB (hoja bandera) la principal hoja de la planta (Lupton, citado por Carretero et al., 2010). Tal es así que, Robert et al. (2004), Formento y de Souza (2007b) demostraron que la fotosíntesis de la HB contribuye con el 45% del total de fotosíntesis, y el estrato inmediatamente inferior con el 20%. Sin embargo, en ninguno de los cultivares evaluados, existió una asociación significativa entre el índice de verde del estrato superior y el PMG, lo cual podría indicar que la capacidad fotosintética del cultivo en llenado de grano fue suficiente.

El peso hectolítrico no fue afectado por la aplicación de fungicidas, a diferencia de lo expuesto por Catedra y Solis (2003), quienes encontraron una correlación significativa entre dicho parámetro y la aplicación de fungicidas. El

valor de Atlax coincide con la caracterización realizada por Castro et al. (2008). Sin embargo para el caso de Baguette 9, los valores obtenidos son sumamente inferiores a los expuestos por Castro et al. (2006), lo cual podría adjudicarse a las condiciones climáticas durante el llenado de grano (mm de lluvia desde fines de octubre hasta primer quincena de noviembre).

6. CONCLUSIONES

La elección de un cultivar con resistencia frente a roya de la hoja, permite minimizar el impacto negativo que puede provocar la enfermedad sobre el rendimiento, aun cuando las condiciones climáticas son favorables para su desarrollo. Esto es debido a que el desarrollo de epidemia es reprimido, por una disminución en la tasa de desarrollo con respecto a un cultivar susceptible a la enfermedad.

Frente a una situación en la cual el manejo de la resistencia genética no es posible de realizar, entonces la aplicación de fungicidas, tanto en términos de momento de aplicación como en la elección de los productos, es una medida de manejo sumamente importante a la hora de controlar la enfermedad para minimizar el impacto negativo en rendimiento,

Como conclusión general del experimento, la respuesta vegetal al control químico de roya de la hoja está fuertemente ligada al comportamiento sanitario del cultivar, lo cual indica que no es factible definir un mismo nivel crítico para cultivares con diferente comportamiento frente a la roya.

Tal es así, que en aquellos cultivares que presentan alto de grado de susceptibilidad, se debería realizar un seguimiento de la enfermedad más exhausto respecto a cultivares con resistencia, para optimizar la aplicación de fungicidas, con el objetivo de minimizar el impacto negativo de la enfermedad sobre el rendimiento del cultivo.

7. RESUMEN

En Uruguay el cultivo de trigo, es el principal cultivo de invierno en los sistemas agrícolas de secano. El mismo es atacado por varias enfermedades, siendo la roya de la hoja una de las principales enfermedades que afecta, tanto el rendimiento como la calidad del grano cosechado. La resistencia genética es la estrategia recomendada, sin embargo algunos cultivares de alto potencial de rendimiento han mostrado alta susceptibilidad a la roya de la hoja. El objetivo del experimento fue optimizar el uso de fungicidas mediante una mayor comprensión de la respuesta vegetal frente a roya de la hoja en dos cultivares de comportamiento sanitario contrastante, Baguette 9 (susceptible) y Atlax (resistente). Se cuantificó el impacto del momento de aplicación de los fungicidas y el tipo de formulación sobre el rendimiento y la calidad del producto cosechado. Durante el ciclo del cultivo se determinaron los niveles de severidad de roya de la hoja, producción de biomasa aérea, índice de verde, largo del ciclo del cultivo, rendimiento, sus principales componentes (granos/m² y PMG) y peso hectolítrico. La cantidad de enfermedad lograda en el ciclo del cultivo, fue afectada por la interacción entre cultivar*momento de aplicación*fungicida. La producción de biomasa aérea y el índice de cosecha no fueron afectados por ninguno de los factores involucrados ni por su interacción. El índice de verde durante el llenado de grano fue afectado por el momento de aplicación de los fungicidas. La enfermedad logró afectar el rendimiento únicamente en Baguette 9. Con la aplicación temprana, se logró reducir las pérdidas en rendimiento ocasionadas por la enfermedad, a diferencia de lo ocurrido con la aplicación tardía. El peso hectolítrico no fue afectado por la enfermedad. De acuerdo a los resultados obtenidos, el manejo de la enfermedad se debería realizar de manera diferencial, dependiendo del comportamiento sanitario del cultivar. En cultivares susceptibles se debería hacer un seguimiento más cuidadoso de la enfermedad, para determinar el momento óptimo de aplicación de fungicidas, con el objetivo de controlar la enfermedad y disminuir las posibles pérdidas ocasionadas por la misma.

Palabras clave: *Puccinia triticina*; *Triticum aestivum*; Estrobilurinas; Triazoles.

8. SUMMARY

In Uruguay, wheat is the primary winter crop in agricultural systems. It is affected by several diseases, being leaf rust the most important affecting both yield and quality of harvested grain. Genetic resistance is the recommended strategy, however some cultivars of high yield potential have shown high susceptibility to leaf rust. The aim of this study was to optimize the use of fungicides through greater understanding of plant response against leaf rust in two cultivars, Baguette 9 (susceptible) and Atlax (resistant) and quantified the impact of timing of spray and fungicide on yield and quality of harvested product. Disease severity, production of biomass, green index, yield, quality and components, were determined. The amount of disease achieved over the crop cycle, was affected by the triple interaction among cultivar*between timing of application * fungicide. Biomass production and harvest index were not affected by studied factors involved or by their interaction. The green index during grain filling stage was affected by the timing of spray. The disease did affect performance only on Baguette 9. The early sprayed treatment reduced yield losses caused by the disease, unlike late application. Grain quality was not affected by the disease. According to the results, the management of the disease should be done differentially, depending on the cultivar resistance. In susceptible cultivars should be more severe monitoring of the disease, to determine the optimal timing of spray to control the disease and reduce potential losses caused by it.

Keywords: *Puccinia triticina*; *Triticum aestivum*; Strobilurin; Triazole.

9. BIBLIOGRAFIA

1. AGRIOS, G. 1995. Fitopatología. México, D.F., Noriega. 837 p.
2. ALTAMIRANO, A.; DA SILVA, H.; DURÁN, A.; ECHEVERRÍA, A.; PANARIO, D.; PUENTES, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay a escala 1:1000000. Montevideo, MAP. 96 p.
3. ANIKSTER, Y.; BUSHNELL, A.P.; ROELFS, A.P.; EILAM, T.; MANISTERSKI, J. 1997. Puccinia recóndita causing leaf rust on cultivated wheats, wild wheats and rye. Canadian Journal of Botany. 75 (12): 2028-2096.
4. ARDUIM, G. 2009. Sensibilidades de racas de Puccinia triticina a fungicidas. Tesis Doutorado em Agronomía. Passo Fundo, Brasil. Faculdade de Agronomía e Medicina Veterinaria. 78 p.
5. ASTEGIANO, E.; VILLAR, J. 2004. Evaluación de criterios de protección de enfermedades foliares con fungicidas en cultivos de trigo para la región central de Santa Fe. In: Villar, J.L.; Cencig, G. eds. Información técnica de trigo, campaña 2004. Santa Fe, INTA EEA Rafaela. pp. 54-58 (Publicación Miscelánea no. 101).
6. BASSANEZI, K.B.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; BERGER, R.D. 2002. Gas Exchange and emission of chlorophyll fluorescence during the monocycle of rust, angular leaf spot and anthracnose on vean leaves as a function of their trophic characteristics. Journal of Phytopathology. 150: 37-47.
7. BOLTON, M.D.; KOLMER, J.A.; GARVIIN, D.F. 2008. Wheat leaf rust caused by Puccinia triticina. Molecular Plant Pathology.9 (5): 563-575.
8. CAMPOS, P.E. 2008. Dinámica de la población de Puccinia triticina, durante los años 2005 y 2006 en Argentina; efectividad de genes de resistencia en plántula a roya de la hoja trigo. In: Congreso Nacional de Trigo (7º.), Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal (5º.), Encuentro del Mercosur (1o., 2008, Santa Rosa, La Pampa). Trabajos presentados. Santa Rosa, s.e. pp. 1-5.

9. CARMONA, M. 2004. Manejo integrado de las enfermedades del trigo. Nuestra oportunidad para asegurar la sustentabilidad del cultivo. s.n.t. pp. 33-42.
10. _____. 2008. Nuevas razas de la roya naranja del trigo. In: Villar, J.L.; Cencig, G. eds. Información técnica de trigo, campaña 2008. Santa Fe, INTA EEA Rafaela. pp. 50-55 (Publicación Miscelánea no. 101).
11. CARRETERO, R.; SERRAGO, R.A; MIRALLES, D.J. 2007. Las enfermedades foliares en el cultivo de trigo; una perspectiva ecofisiológica. In: Jornada de Trigo de la Región Centro (2ª, 2007, Argentina). Memorias. Rosario, s.e. pp. 17-23.
12. _____.; _____.; _____.; BANCAL, M.O.; PERELLO, A.E. 2010. Absorbed radiation and radiation use efficiency as affected by foliar disease in relation to their vertical position into the canopy in wheat. *Field Crops Research*. 116: 184-195.
13. CASTELLARIN, J.M. 2010. Influencia de las prácticas de manejo sobre la generación del rendimiento en el cultivo de trigo. In: Castellarin, J.M. ed. Trigo 2009, para mejorar la producción 40. Campaña 2010. Santa Fe, INTA EEA Oliveros. pp. 15-39.
14. CASTRO, M.; PEREYRA, S.; GERMAN, S.; VAZQUEZ, D. 2006. Resultados de ensayos año 2004. Trigo ciclo intermedio. (en línea). In: Resultados experimentales de evaluación de trigos y cebadas evaluadas en 2006 para el Registro Nacional de Cultivares; período 2004-2005-2006. Montevideo, INIA. s.p. Consultado 12 may. 2011. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/trigoci06.htm
15. _____. _____. _____. _____. 2008. Resultados de ensayos año 2004. Trigo ciclo intermedio. (en línea). In: Resultados experimentales de evaluación de trigos y cebadas evaluadas en 2008 para el Registro Nacional de Cultivares; período 2006-2007-2008. Montevideo, INIA. s.p. Consultado 12 may. 2011. Disponible en http://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/resultados/trigoci08.htm

16. CÁTEDRA CERON, M.M.; SOLIS MARTEL, I. 2003. Effect of a fungicide treatment on yield and quality parameters of new varieties of durum wheat (*Triticum turgidum* L.spp. durum) and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in western Andalusia. Spanish Journal of Agricultural Research. 1 (3): 19-26.
17. _____.; PEREZ GARCIA, J.J.; CASTILLA BONETE, A. 2005. Eficiencia de los fungicidas utilizados en trigo duro. Vida Rural. 220: 44-47.
18. FORMENTO, A.N.; DE SOUZA, J.; FIRPO, R.R. 2007a. Actualización técnica-cultivos de invierno; comportamiento de cultivares comerciales de trigo a la roya de la hoja (*Puccinia triticina*) y a la mancha amarilla (*Pyrenophora triticirepentis*) año 2006. INTA Entre Ríos. Serie extensión no. 42. 96 p.
19. _____. _____. 2007b. Actualización técnica-cultivos de invierno; efecto de la severidad de la roya de la hoja (*Puccinia triticina*) sobre los componentes del rendimiento de trigo. INTA Entre Ríos. Serie extensión no. 42. 96 p.
20. _____. 2007c. Actualización técnica-cultivos de invierno; eficacia de grupos de fungicidas en el control de la roya de la hoja del trigo (*Puccinia triticina*). INTA Entre Ríos. Serie extensión no. 42. 96 p.
21. GANG LIU.; CHUN-YAN HOU.; DONG-ME.; WANG. 2010. Calcium influx is required for the initiation of the hypersensitive response of *Triticum aestivum* to *Puccinia triticina*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 74: 267-273.
22. GERMÁN, S. 2007. Roya de la hoja en cultivos de invierno; epidemiología de la enfermedad y comportamiento varietal. In: Jornada de Cultivos de Invierno (2007, Young). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 1-13 (Actividades de Difusión no. 484).
23. _____.; DIAZ, M.; PEREYRA, S. 2010. Royas y oidio de trigo y cebada. In: Germán, S.; Diaz, M.; Pereyra, S. eds. Manejo de enfermedades en trigo y cebada. Montevideo, INIA. pp. 139-164.

24. GLAZERBROOK, J. 2005. Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens. *Annual Review of Phytopathology*. 43: 205-227.
25. GODIÑO, M.; SILVA, J.; NEGRO, C.; HARTWICH, F. 2004. La mesa nacional de trigo de Uruguay; aprendizaje para la innovación: las iniciativas mixtas entre sectores público y privado. Briefing Paper .Isnar no. 71. 11 p.
26. HOFFMAN, E.; PERDOMO, C.; ERNST, O.; BORDOLLI, M.; PASTORINI, M.; PONS, C.; BORGHI, E. 2001. Propuesta de manejo de la fertilización nitrogenada para cultivos de invierno en Uruguay. *In*: Seminario Nacional de Discusión Técnica (1º., 2001, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, EEMAC. pp. 33-36.
27. LEYVA MIR, S.G.; ESPITIA KANGEL, E.; VILLASEÑOR MIR, E.; HUERTA ESPINO, J. 2003. Efecto de la roya de la hoja (*Puccinia triticina* Eriks.) sobre el rendimiento de trigo (*Triticum aestivum* L.) de Temporal. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 21 (001): 40-45.
28. MCGRATH, M.T.; PENNYPACKER, S.P. 1990. Altration of physiological processes in wheat flag leaves caused by stem rust and leaf rust. *Phytopathology*. 80 (8): 677-686.
29. MASSARO, R.A.; GONZALEZ, M.; INCREMONA, M.; GONZALEZ, M.C.; BOTTA, F.; ALMADA, G.; CAPURRO, J.; GHIO, J.; DAMEN, D.; GARGICEVICH, A.; MENDEZ, J.M.; PES CETTI, H. 2003. Evaluación del control de enfermedades foliares del trigo con aplicación de fungicidas en el sur y centro de Santa Fe. Ciclo 2002/2003. *In*: Massaro, R.A.; Gonzalez, M.; Incremona, M. eds. Información técnica de trigo; campaña 2003. Santa Fe, INTA EEA Rafaela. pp. 1-6.
30. _____.; GARGICEVICH, A.; GONZALEZ, M.; INCREMONA, M.; ALBRECHT, R.; ALMADA, G.; CAPURRO, J.; CASTELLARIN, J.M.; GONZALEZ, M.C.; LAGO, M.; MALMANTILE, A.; MENDEZ, J.M.; PES CETTI, H. 2005. Asociación entre las variables culturales del trigo y la severidad de las enfermedades foliares. Centro y Sur de Santa Fe. Ciclo 2004/2005. *In*: Massaro, R.A.; Gargicevich, A.; Gonzalez, M. eds. Para mejorar la producción 28. Santa Fe, INTA EEA Oliveros. pp. 89-91.

31. MILISICH, H.; CAVIGLIA, O.; OCAMPO, O.; GREGORUTTI, V.C.; VAN OPSTAL, N.V. 2007. Actualización técnica-cultivos de invierno; efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y sus componentes en cultivares de trigo. INTA Entre Ríos. Serie extensión no. 42. 96 p.
32. OSORIO, E.A.; WENDT, W. 1995. Duração do período de formação do grão em trigo. *Scientia Agricola*. 52 (2): 395-398.
33. PARLEVLIT, J.E. 1985. The Cereal rust; resistance of the non-race-specific type.20. (en línea). s.n.t. s.p. Consultado 4 may. 2011 Disponible en <http://www.globalrust.org/db/attachments/multimedia/372/36/The%20Cereal%20Rusts%20Volume%20II%20-Chapter%2016.pdf>
34. PAULSEN, G.M.; SHROYER, J.P. 2004. Wheat; agronomy. *In*: Wrigley, C.; Corke, H.; Walker, C.E. eds. *Encyclopedia of grain science*. Oxford, Elsevier. pp. 337-347.
35. PEREYRA, S.; DIAZ DE ACKERMAN, M. 2007. Uso de fungicidas para el control de roya de la hoja en cebada y trigo. *In*: Jornada de Cultivos de Invierno (2007, Montevideo). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 15-24 (Actividades de Difusión no. 484).
36. PIRES, P. 2007. Ferrugem da folha do trigo (*Puccinia triticina* ERIKS). Taxa de formacao e distribuicao das lesoes. Tesis Mestre em Agronomia. Passo Fundo, Brasil. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinaria. 83 p.
37. ROBERT, C.; BANCAL, M.O.; NEY, B.; LANNOU, C. 2004. Wheat leaf photosynthesis loss due to leaf rust with respect to lesión development and leaf nitrogen status. *New Phytologist*. 165: 227-241.
38. ROELFS, A.P.; SINGH, R.P.; SAARI, E.E. 1992. Las royas del trigo; conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. México, D.F., CIMMYT. 81 p.
39. SAEZ, R. 2009. Desempeño del sector agropecuario y agroindustrial de Uruguay en el período 200-2008. Montevideo, s.e. 135 p.

40. SAVILE, D.B.O. 1984. Taxonomy of the cereal rust fungi. In: Busnhell, W. R.; Roelfs, A.P. eds. *The Cereal Rust; origins, specificity, structure and physiology*. London, Academic Press. pp. 89-122.
41. SERRAGO, R.A.; CARRETERO, R.; BANCAL, M.O.; A.E; MIRALLES, D.J. 2009. Foliar diseases affect the eco-physiological attributes linked whit yield and biomass in wheat (*Triticum aestivum* L). *European Journal of Agronomy*. 31: 195-203.
42. SHTIENBERG, D. 1992. Effects of foliar diseases on gas exchange processes: a comparative study. *Phytopathology*. 82 (7): 760-765.
43. SOLIS, E.; HERNÁNDEZ, M.; BORODANENRO, A.; AGUILAR, J.L.; GLAJEDA, D.A. 2004. Duración de la etapa reproductiva y el rendimiento de trigo. *Fitotecnia Mexicana*. 27 (004): 323-332.
44. TOMERLIN, R.; HOWELL, T. 1988. DISTRAIN; a computer program for training people to estimate disease severity on cereal leaves. *Plant Disease*. 72: 455-459.
45. UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA (URUGUAY). FACULTAD DE AGRONOMIA. 2008. Caracterización de cultivares de trigo Segundo ciclo de: Biointa 1002, Biointa 3000, Baguette 11, Baguette 13. Primer Ciclo de: Nogal, Baguette 9, Baguette 19, Atlax y Centauro. Paysandú. 27 p.
46. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERIA, AGRICULTURA Y PESCA. s.f. Series históricas de datos. (en línea). Montevideo, MGAP. s. p. Consultado 3 mar. 2011. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,60,O,S,0,MNU;E;2;16;10;9;MNU>
47. _____. _____. DIRECCION DE ESTADISTICAS AGROPECUARIAS. 2009. Anuario estadístico agropecuario 2009. Montevideo. s.p.
48. VAZQUEZ, D. 2009. Aptitud industrial del trigo. Montevideo, INIA. 46 p. (Serie Técnica no. 177).

49. _____. 2010. Presente y futuro de la calidad del trigo uruguayo. In: Jornada Cultivos de Invierno (2010, Montevideo). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 1-6 (Actividades de Difusión no. 603).
50. VENANCIO, W.S.; TAVARES, M.A.; BEGLIOMINI, E.; DE SOUZA, N.L. 2003. Physiological effects of strobilurin fungicides on plant. *Ciencias exatas e da terra. Ciências Agrarias e Engenharias*. 9 (3): 59-68.
51. VIERO, V. 2008. Epidemiologia comparativa entre a ferrugem asiática da soja e a ferrugem da folha do trigo. Tesis Mestre en Agronomía. Passo Fundo, Brasil. Faculdade de Agronomía e Medicina Veterinaria. 118 p.
52. VILLAR, J.L.; CENCIG, G. 2004. Control químico de la roya de la hoja del trigo. In: Villar, J.L.; Cencig, G. eds. Información técnica de trigo; campaña 2004. Santa Fe, INTA EEA Rafaela. pp. 46-49 (Publicación Miscelánea no. 101).
53. WITT, C.; PASUQUIN, J.M.; MUTTASE, R.; BURESH, R.J. 2005. New leaf colour chart for effective nitrogen management in rice. *Better Crops*. 89: 36–39.
54. ZADOKS, J.; CHANG, T.; KONZAK, C. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res*. 14:415-421.

10. ANEXOS

Cuadro: Temperatura media (T °C), Humedad relativa (% HR) y Temperatura de rocío (Tr °C), desde la siembra de cultivo hasta la última lectura efectuada a los 134 días pos siembra.

Día	HR	T	Tr	Día	HR	T	Tr	Día	HR	T	Tr
18-6	78	10,1	6,3	2-8	81,4	14,6	11,5	16-9	80,7	13,1	9,8
19-6	74,9	10,1	5,7	3-8	78,6	14,6	10,9	17-9	90,7	13,1	11,6
20-6	76,4	10,1	6,0	4-8	74,4	14,6	10,1	18-9	90,8	13,1	11,6
21-6	89,5	10,1	8,4	5-8	78,1	14,6	10,8	19-9	78,9	13,1	9,5
22-6	90,0	10,1	8,5	6-8	68,8	14,6	8,9	20-9	67,8	13,1	7,2
23-6	72,6	10,1	5,2	7-8	77,8	14,6	10,8	21-9	64,2	13,1	6,4
24-6	67	10,1	4,0	8-8	72,9	14,6	9,8	22-9	82,7	13,1	10,2
25-6	67,5	10,1	4,1	9-8	72,8	14,6	9,8	23-9	82,8	13,1	10,2
26-6	64,4	10,1	3,4	10-8	64,5	14,6	7,9	24-9	73,0	13,1	8,3
27-6	65,8	10,1	3,7	11-8	64,0	14,6	7,8	25-9	68,4	13,1	7,3
28-6	83,8	10,1	7,4	12-8	69,7	14,6	9,1	26-9	69,3	13,1	7,5
29-6	86,9	10,1	8,0	13-8	74,9	14,6	10,2	27-9	82,9	13,1	10,3
30-6	64,3	10,1	3,4	14-8	61,3	14,6	7,1	28-9	65,4	13,1	6,7
1-7	66,1	9,2	2,9	15-8	56,9	14,6	6,0	29-9	64,3	13,1	6,4
2-7	61,9	9,2	1,9	16-8	77,5	14,6	10,7	30-9	68,0	13,1	7,2
3-7	61,6	9,2	1,8	17-8	67,3	14,6	8,6	1-10	73,7	17,6	13,0
4-7	57,9	9,2	0,9	18-8	55,5	14,6	5,7	2-10	72,6	17,6	12,7
5-7	70,2	9,2	3,8	19-8	85,4	14,6	12,2	3-10	68,1	17,6	11,8
6-7	86,2	9,2	6,9	20-8	81	14,6	11,4	4-10	71,7	17,6	12,5
7-7	93,3	9,2	8,1	21-8	81	14,6	11,4	5-10	80,4	17,6	14,3
8-7	88,9	9,2	7,4	22-8	74,3	14,6	10,1	6-10	75,4	17,6	13,3
9-7	79,6	9,2	5,7	23-8	72	14,6	9,6	7-10	61,8	17,6	10,3
10-7	76,9	9,2	5,2	24-8	73,1	14,6	9,8	8-10	63,8	17,6	10,8
11-7	77,2	9,2	5,3	25-8	74,5	14,6	10,1	9-10	62,4	17,6	10,4
12-7	72,1	9,2	4,2	26-8	74,6	14,6	10,1	10-10	68,3	17,6	11,8
13-7	69,5	9,2	3,7	27-8	70,0	14,6	9,2	11-10	84,4	17,6	15,0
14-7	70,8	9,2	4,0	28-8	65,5	14,6	8,2	12-10	70,1	17,6	12,2
15-7	83,5	9,2	6,5	29-8	60,9	14,6	7,1	13-10	63	17,6	10,6
16-7	89,7	9,2	7,5	30-8	55,1	14,6	5,5	14-10	75,1	17,6	13,2
17-7	81,9	9,2	6,2	31-8	74,4	14,6	10,1	15-10	64,2	17,6	10,9
18-7	84,1	9,2	6,6	1-9	93,0	13,1	12,0	16-10	55,7	17,6	8,7

19-7	88,8	9,2	7,4	2-9	93,9	13,1	12,1	17-10	64,4	17,6	10,9
20-7	76,6	9,2	5,2	3-9	92,6	13,1	11,9	18-10	66,3	17,6	11,4
21-7	88,3	9,2	7,3	4-9	90,0	13,1	11,5	19-10	67,9	17,6	11,7
22-7	78,6	9,2	5,5	5-9	82,3	13,1	10,1	20-10	62,8	17,6	10,5
23-7	72,1	9,2	4,2	6-9	76,8	13,1	9,1	21-10	74,4	17,6	13,1
24-7	67,3	9,2	3,2	7-9	85,9	13,1	10,8	22-10	78,3	17,6	13,9
25-7	65,2	9,2	2,7	8-9	80,7	13,1	9,8	23-10	64,9	17,6	11,0
26-7	65,8	9,2	2,8	9-9	77,9	13,1	9,3	24-10	64,6	17,6	11,0
27-7	62,6	9,2	2,1	10-9	63,8	13,1	6,3	25-10	59,9	17,6	9,8
28-7	64,8	9,2	2,6	11-9	75,1	13,1	8,8	26-10	56,8	17,6	9,0
29-7	63,9	9,2	2,4	12-9	74,0	13,1	8,5	27-10	56	17,6	8,8
30-7	60,8	9,2	1,6	13-9	76,9	13,1	9,1	28-10	65,7	17,6	11,2
31-7	67	9,2	3,1	14-9	80,2	13,1	9,7	29-10	71,7	17,6	12,5
1-8	81,6	14,6	11,5	15-9	51,6	13,1	3,0	30-10	66,8	17,6	11,5

Nota: los números en la columna correspondiente a %HR que aparecen en negrita son los días en que se formó rocío.

Cuadro: Evolución de la severidad promedio de roya de la hoja en Baguette 9 según tratamiento. Valores expresados en porcentaje.

Zadocks	Z 30	Z 40	Z 50	Z 60	Z 65	Z 70	Z 73	Z 78
dps	67	90	97	104	112	119	126	134
Sin aplicación	0,0	0,0	0,4	0,7	18,2	42,2	59,4	-
Protegido-Swing	0,0	0,0	0,1	0,0	1,5	1,8	1,6	2,3
Temprana-Swing	0,0	0,0	0,3	0,3	14,2	26,7	26,8	37,2
Tardía-Swing	0,0	0,0	0,2	0,6	15,7	34,9	43,4	74,5
Protegido-Opera	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,1	0,3	0,9
Temprana-Opera	0,0	0,0	0,3	0,4	13,2	23,3	23,4	39,0
Tardía-Opera	0,0	0,0	0,2	0,5	19,7	39,8	49,6	77,8

Cuadro: Evolución de la severidad promedio de roya de la hoja en Atlax según tratamiento. Valores expresados en porcentaje

Zadocks	Z 30	Z 40	Z 50	Z 60	Z 65	Z 70	Z 73	Z 78
dps	67	90	97	104	112	119	126	134
Sin aplicación	0,0	0,0	0,1	0,1	0,7	2,7	9,3	25,7
Protegida-Swing	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,8	0,1	0,4
Temprana-Swing	0,0	0,0	0,0	0,1	1,2	2,2	0,9	2,0
Tardía-Swing	0,0	0,0	0,1	0,2	6,6	15,1	18,2	35,9
Protegida-Opera	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,5	0,2	0,3
Temprana-Opera	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	3,8	1,1	1,9
Tardía-Opera	0,0	0,0	0,2	0,2	1,7	3,7	5,5	17,3

Cuadro: Severidad promedio de roya de la hoja según momento de aplicación de fungicidas para los dos cultivares y los dos fungicidas evaluados. Valores expresados en porcentaje.

Zadoks	Z50	Z60	Z65	Z70	Z73	Z78
dps	97	104	112	119	126	134
Protegida	0,06 b	0,01 b	0,89 b	1,02 b	0,57 c	0,97 c
Temprana	0,19 ab	0,19 a	7,23 a	13,99 a	13,05 b	20,04 b
Tardía	0,15 ab	0,39 a	10,49 a	21,75 a	27,85 a	52,07 a
Sin aplicación	0,25 b	0,38 a	9,45 a	22,45 a	34,33 a	46,46 a

Valores con diferente letra difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$).

Cuadro: Producción de materia seca según momento de aplicación y fungicida en Z 30, Z 65 y cosecha en Baguette 9. Valores expresados en Kg/ha.

Momento	Fungicida	Z 30	Z 65	Cosecha
		2373 a	9345 a	13775 a
Protegido	Swing	1553 a	7850 a	12893 a
Temprana	Swing	1974 a	10080 a	14375 a
Tardía	Swing	2092 a	6960 a	15497 a
Protegido	Opera	2197 a	9015 a	13465 a
Temprana	Opera	2160 a	9330 a	14880 a
Tardía	Opera	1675 a	7815 a	14240 a

Valores con diferente letra difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$).

Cuadro: Producción de materia seca según momento de aplicación y fungicida en Z 30, Z 65 y cosecha en Atlax. Valores expresados en Kg/ha.

Momento	Fungicida	Z 30	Z 65	Cosecha
		3233 a	8430 a	12957 a
Protegido	Swing	2714 a	9285 a	14385 a
Temprana	Swing	2614 a	7330 a	14653 a
Tardía	Swing	2294 a	9970 a	14290 a
Protegido	Opera	2516 a	8440 a	14103 a
Temprana	Opera	2083 a	8460 a	13850 a
Tardía	Opera	2667 a	10110 a	14850 a

Valores con diferente letra difieren significativamente entre sí (Tukey, $p=0,05$).