

USO DE FLUQUINCONAZOLE COMO TRATAMIENTO A LA SEMILLA PARA EL CONTROL DE MAL DEL PIE (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) EN TRIGO

USE OF FLUQUINCONAZOLE AS A SEED TREATMENT FOR THE CONTROL OF TAKE-ALL DISEASE (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) OF WHEAT

Carola Vera^{1*}, Ricardo Madariaga², y Ernesto Moya-Elizondo¹

¹ Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Vegetal, Av. Vicente Méndez 595, Chillán, Chile.

² Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile.

* Autor para correspondencia E-mail: carolaverapalma@hotmail.com

RESUMEN

El mal del pie es considerado una de las enfermedades más destructivas en trigo a nivel mundial. El tratamiento a la semilla con fungicidas no es un método de control completamente efectivo, pero es una valiosa herramienta para atenuar la enfermedad. Durante la temporada de cultivo 2012-2013 se realizó un experimento con trigo invernal 'Maxwell-INIA' en la Estación Experimental Santa Rosa del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán, que incluyó seis tratamientos: una formulación comercial de fluquinconazole + prochloraz, tres dosis del i.a. fluquinconazole (75; 87,5 y 100 g i.a. en 100 kg de semilla) y dos testigos (con y sin inóculo del hongo). El suelo fue inoculado artificialmente con un aislamiento patogénico de *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* INIA Ggt 2010-04. Los tratamientos con las tres dosis de fluquinconazole fueron eficaces en incrementar rendimiento y calidad de grano, presentando rendimientos similares a la formulación comercial, con incrementos entre 26 y 38% sobre el testigo inoculado. Ningún tratamiento a las semillas controló completamente la enfermedad, pero se logró aumentos en el rendimiento (26-38%), índice de cosecha (18-22%) y peso de hectólitro (5-8%) en comparación al testigo inoculado y sin fungicida. Estos resultados sugieren que el uso de fluquinconazole es promisorio para el control del mal del pie en trigo.

Palabras clave: pietín, triazoles, control químico, ascomicete.

ABSTRACT

Take-all is considered one of the most destructive diseases of wheat worldwide. Seed treatment with fungicides is not a completely effective control method, but it is a valuable tool to reduce the disease. During the growing season 2012 - 2013 an experiment was performed with 'Maxwell-INIA' winter wheat in the Santa Rosa Experimental Station INIA, Chillán, which included six treatments: a commercial formulation of fluquinconazole + prochloraz, three doses of i.a. fluquinconazole (75; 87.5 and 100 g a.i.) and two controls (with and without inoculation). Soil was artificially inoculated with a pathogenic isolate of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* INIA Ggt 2010-04. Treatments with three doses of fluquinconazole resulted in an increase of both yield and quality, being similar to the commercial formulation and increasing yields between 26 and 38 % with respect to the inoculated control. No seed treatment completely controlled the disease, but these treatments increased yield (26-38%), harvest index (18-22%) and hectolitre weight (5-8%) compared to the inoculated control.

without fungicide. These results suggest that the use of fluquinconazole is promising for take-all control in wheat.

Key words: foot root, triazoles, chemical control, ascomycete.

INTRODUCCIÓN

El trigo es el cereal más sembrado en Chile, ocupando aproximadamente 270.000 ha, y alcanzando altos rendimientos promedios, cercanos a los 5,8 t ha⁻¹ (Danty y Olfos, 2012). Sin embargo, este cultivo se ve afectado por varias enfermedades fungosas, dentro de las cuales destacan: roya estriada (*Puccinia striiformis* West. f. sp. *tritici* Eriks.) y roya colorada (*P. triticina* f. sp. *tritici* Eriks), mancha parda (*Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechs.), oidio (*Blumeria graminis* DC. f. sp. *tritici* Em. Marchal), septoria (*Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt.) y mal del pie (*Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) Arx et Oliver var. *tritici* Walker).

Dentro de estas enfermedades, el "mal del pie" es un problema de relevancia a nivel mundial, y en Chile es considerada como una de las enfermedades más destructivas en trigo (Huber y McCay-Buis, 1993; Andrade, 1995a). Esta enfermedad forma parte del complejo de pudriciones radiculares que afectan al trigo y que incluye además a los siguientes patógenos descritos en Chile: *Fusarium culmorum* (Wm. G. Sm.) Sacc, *F. graminearum* Schwabe, *F. pseudograminearum* O'Donnell et. T. Aoki *Rhizoctonia solani* Kühn y algunos nemátodos (Madariaga, 1995; Madariaga, 2004b). En nuestro país, la enfermedad mal del pie se presenta desde la Región de O'Higgins (33°51' S, 70°02' O) a la Región de Los Lagos (39°16' S, 71°35' O), siendo la zona sur el área más afectada.

Los síntomas de la enfermedad se caracterizan por desuniformidad en la emergencia, clorosis, reducción de altura, presencia de espigas blancas y masa radical necrótica (Cook, 2003). A inicios del crecimiento se puede identificar por la aparición de plántulas amarillentas, poco desarrolladas y atrofiadas, produciendo escasos macollos y pocas espigas. En época de espigadura las plantas afectadas maduran prematuramente, generando espigas con espiguillas decoloradas y estériles, o con una alta proporción de granos vanos. Además, las plantas se pueden arrancar con facilidad, debido a que se desarrolla una masa radical pobre, parcial o totalmente necrótica (Madariaga, 1995; Latorre, 2004).

Gaeumannomyces graminis var. *tritici* (Ggt) produce una masa oscura de micelio del hongo entre el tallo y la vaina foliar inferior de la planta, desde donde sobresalen los peritecios, que contienen ascas y ascosporas, y que son las estructuras reproductivas sexuales del hongo (Madariaga,

1995; Cook, 2003). El micelio, causante de la infección, ya que rara vez lo hacen las ascosporas (Curtis et al., 2008), se observa como filamentos de color café que crecen en la superficie de las raíces de plantas infectadas, produciendo hifas pequeñas para la nutrición llamadas hifopodios (Madariaga, 1995; Cook, 2003; Madariaga, 2004b). El patógeno sobrevive en restos de cultivos enfermos e inerva en raíces y tallos de plantas de trigo y otras gramíneas susceptibles. El hongo se disemina principalmente por el contacto radical entre raíces enfermas y sanas, contacto con residuos de rastrojos, traslado de suelo infestado junto a maquinarias de uso agrícola, y por efecto del drenaje superficial producido por las lluvias (Latorre, 2004; Mellado, 2007). Además es capaz de infectar durante toda la estación de crecimiento, y le favorecen temperaturas entre 12-18°C, nivel de susceptibilidad del cultivar, alta humedad en el suelo, deficiencia de nutrientes, nitrógeno aportado como nitrato, lento desarrollo radical y siembras tempranas (Huber y McCay-Buis, 1993; Andrade, 1995a; Madariaga, 1995; Cook, 2003; Sieling et al., 2007).

En suelos trumaos (andisoles) es donde se ha observado una mayor severidad de la enfermedad en Chile (Andrade, 1995a; Madariaga, 1995; Campillo et al., 2001; Mellado, 2007), además de estar estrechamente relacionada con la acidez del suelo, ya que la enfermedad es favorecida por suelos alcalinos (Andrade, 1995a). El Mal del pie es particularmente severo en condiciones de monocultivo (Cook, 2003; Latorre, 2004; Madariaga, 2004a; Mellado, 2007; Jobet et al., 2011), siendo el trigo el cereal más susceptible a la enfermedad, seguido por cebada (*Hordeum vulgare* L.) (Sieling et al., 2007) y triticale (*x Triticosecale* sp.), mientras que avena (*Avena sativa* L.) y centeno (*Secale cereale* L.) son considerados inmunes. El uso de avena, raps (*Brassica napus* L.) y lupino (*Lupinus* sp.) serían las opciones más adecuadas de rotación, ya que disminuye la posible incidencia de la enfermedad y propagación del inóculo (Andrade, 1995a).

No existe resistencia genética para el control de mal del pie, dado que los niveles de tolerancia encontrados son muy bajos o existe poca consistencia al evaluarlos bajo diferentes condiciones, por lo que el uso de fungicidas es una interesante alternativa de control. En Chile, los primeros trabajos relacionados con la evaluación de estos desinfectantes para el control de mal del pie en

trigo se iniciaron en INIA-Carillanca en el año 1984, dando como resultado el desarrollo del producto granular triadimenol aplicado al suelo, el cual logró disminuir las pérdidas ocasionadas gracias al aumento del efecto residual del fungicida (Andrade, 1995b). Posteriormente se evaluó la efectividad de diferentes desinfectantes como tratamiento a la semilla, lográndose determinar que la aplicación de triticonazole, triadimenol y silthiofam retardaron y/o disminuyeron la infección causada por Ggt, lo que se tradujo en un aumento significativo del rendimiento y calidad del grano (Andrade, 2004).

La eficacia de los estudios llevados a cabo con tratamientos fungicidas ha sido variable, dado que su uso ha logrado disminuir los daños e intensidad de la enfermedad, pero sin lograr un control completo de ésta. Por lo general, el empleo de fungicidas para el control de enfermedades en cereales ha estado dirigido al uso de desinfectantes de semilla y ha sido el método más ampliamente utilizado para el control de mal del pie, ya que tiene una serie de ventajas respecto a otros métodos de control (Jenkyn et al., 2000), otorgando protección, además de prevenir y/o disminuir los posibles daños producidos por patógenos. Es por ello, que actualmente se están evaluando la mezcla de ingredientes activos (i.a.) como fluquinconazole y prochloraz (Dawson y Bateman, 2000; Russell et al., 2001).

Fluquinconazole al igual que triticonazole, triadimenol y fenbuconazole, son fungicidas que se clasifican como triazoles, presentan un modo de acción sistémico y tienen un amplio espectro de actividad (Bockus et al., 2010). Prochloraz es un fungicida de contacto perteneciente al grupo químico de los imidazoles. Fluquinconazole fue desarrollado como un tratamiento de semillas para el control de mal del pie (Dawson y Bateman, 2000; Russell et al., 2001), que se caracteriza por combinar la capacidad de la molécula para penetrar en la semilla y el sistema radical, lo cual proporciona un control eficaz de la enfermedad (Bateman et al., 2004) al impedir que el hongo penetre en la raíz (Russell et al., 2001), lo que se traduce en aumentos en el rendimiento de grano (Dawson y Bateman, 2001; Bateman et al., 2004; Sieling et al., 2007). Adicionalmente, este ingrediente activo presenta una buena compatibilidad con otros fungicidas (Hornby y Beale, 2000) y el riesgo de desarrollo de resistencia a fluquinconazole es muy baja (Russell et al., 2001). El hongo Ggt es altamente sensible a fluquinconazole en conjunto con prochloraz, ambos inhibidores de la biosíntesis del ergosterol. En Chile, se comercializa el producto Galmano® Plus 450 FS (Bayer S.A.) que es una suspensión concentrada de ambos i.a. ($167,2 \text{ g L}^{-1} + 31,22 \text{ g L}^{-1}$ FS (AFI-

PA, 2008), recomendado para el tratamiento de semillas de trigo (Russell et al., 2001), pues presenta un efecto supresor y de acción preventiva contra mal del pie. Muestra una disminución del porcentaje de raíz con lesiones, lo que indicaría una disminución de la propagación de la enfermedad (Dawson y Bateman, 2000; Bateman et al., 2008). Sin embargo, no existen experiencias en Chile donde se haya evaluado individualmente el efecto de fluquinconazole en diferentes concentraciones.

Basado en los antecedentes anteriores, se planteó como objetivo evaluar el efecto de distintas dosis y formulaciones a base de fluquinconazole, usados como tratamiento de semilla, para el control del hongo *G. graminis* var. *tritici*, agente causal de la enfermedad mal del pie, en trigo de hábito invernal bajo condiciones de campo. Esta investigación buscó determinar la efectividad y eficacia en la desinfección de semillas de distintas concentraciones de una nueva formulación de fluquinconazole en comparación con una dosis de una formulación comercial de fluquinconazole + prochloraz, y determinar el efecto de los tratamientos de semilla con fluquinconazole sobre características agronómicas, fisiológicas y de calidad del grano de plantas inoculadas y no inoculadas con el hongo junto con su efecto en la severidad de la enfermedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

El aislamiento y multiplicación artificial de Ggt para inducir la enfermedad mal del pie en el campo fue realizado en el Laboratorio de Fitopatología de Cereales del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)-Quilamapu, Chillán, Chile. Este inóculo artificial fue preparado en semillas de avena inoculadas con el aislamiento Ggt 2010-04, el cual es altamente virulento y fue obtenido de plantas enfermas provenientes del Campo Experimental Santa Rosa del INIA. La preparación del inóculo consistió en multiplicar el hongo Ggt durante 30 días en matraces Erlenmeyer de 500 mL con granos de avena previamente esterilizados. Para ello, cada matraz se llenó con 200 g de avena limpia libre de impurezas y 100 mL de agua destilada, teniendo la precaución de que todos los granos quedaran cubiertos por el agua. Luego, el material se dejó en remojo durante 24 h, para posteriormente ser esterilizado en autoclave (Deltalab AT 50, Santiago, Chile) a 120°C , durante 15 minutos y a una presión de $1,034 \text{ kPa}$ (15 libras pulgada⁻²). Al día siguiente el material en los matraces fue sometido a un segundo autoclavado, bajo las mismas condiciones antes descritas.

Sitio experimental

El experimento fue realizado en el vivero de Pudriciones Radiculares de Trigo (PURAT) del Campo Experimental Santa Rosa perteneciente a INIA-Quilmapu, ubicado a 25 km de la ciudad de Chillán, región del Biobío, Chile (36°31'53" S, 71°54'50,1" O, 220 m.s.n.m.). El suelo del predio es un Andisol de la serie Arrayán, regado, que ha sido mantenido con pastos naturales durante varias temporadas. Las unidades experimentales correspondieron a una parcela sembrada con trigo harinero (*T. aestivum* L.) 'Maxwell-INIA', con hábito de desarrollo invernal. Cada parcela contó con cinco hileras de 2 m de largo por 0,2 m entre hileras (2 m²). Dentro de los seis tratamientos se consideraron dos testigos que no fueron tratados con fungicida, siendo uno de ellos inoculado con el patógeno. Las dosis de los tratamientos desinfectantes de semilla se describen en la Tabla 1.

Cada parcela fue sembrada con 8 g de semilla por hilera, equivalente a una dosis de 200 kg ha⁻¹ de semilla. Previo a la siembra, todas las semillas fueron tratadas con los insecticidas clothianidin + beta-cyfluthrin (Janus® 480 FS, Bayer S.A.), en dosis de 60 mL en 100 kg semilla, para el control de áfidos. El tratamiento se realizó sobre todo el lote de semillas, mezclando el producto dentro de una bolsa plástica, la cual fue agitada hasta lograr el cubrimiento uniforme de los granos, y luego se dejaron secar a temperatura ambiente. Posteriormente las semillas fueron tratadas con los fungicidas en estudio de manera separada para cada tratamiento, en las dosis descritas en la Tabla 1. Para ello, los productos se diluyeron en el equivalente a 10 mL de agua por kg de semilla, luego el producto fue mezclado con las semillas

utilizando el mismo procedimiento descrito anteriormente para el insecticida.

Cada hilera fue sembrada e inoculada manualmente utilizando un grano de avena infestado por el hongo por cada tres granos de trigo. Los granos de avena fueron puestos junto con la semilla de trigo en el surco de siembra. Los surcos inoculados correspondían sólo a las tres hileras centrales de cada parcela en los tratamientos que presentaban inóculo. La siembra del experimento se realizó el 14 de junio de 2012, en base a un sistema de siembra tradicional con preparación de suelos y sin riego. Para el control de malezas se aplicó al momento de la siembra un herbicida a base de flufenacet + flurtamone + diflufenican (Bacara® Forte 360 SC, Bayer S.A.) y en estado de macollamiento (Z2.3), según escala de Zadocks y Schein (1979), se aplicó el producto iodosulfuron-metil-sodio + mesosulfuron-metil (Cossack 150 WG, Bayer S.A.). Las plantas fueron fertilizadas a la siembra con fosfato diamónico (FDA) 260 kg ha⁻¹, cloruro de potasio (KCl) 60 kg ha⁻¹, sulpomag (200 kg ha⁻¹), boronatrocalcita (10 kg ha⁻¹) y sulfato de Zn (ZnSO₄) 3 kg ha⁻¹. Posteriormente se fertilizó con 153 unidades (u) de N como salitre sódico (NaNO₃) en dos parcializaciones: 93 u a media macolla (375 kg ha⁻¹) y 60 u al término de la macolla (580 kg ha⁻¹); estado Z2.3 y Z3.1, respectivamente (Zadoks y Schein, 1979).

Para tener la certeza de que la inoculación de Ggt funcionó adecuadamente en las parcelas experimentales, el hongo se re-aisló desde las plantas enfermas. Para esto, en el estado de madurez (Z9.3) se tomaron muestras de plantas con síntomas característicos de la enfermedad, para realizar el aislamiento del hongo en laboratorio. Para

Tabla 1. Tratamientos desinfectantes de semilla con fungicida, inoculación artificial con *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* (Ggt), dosis de productos comerciales e ingredientes activos (i.a.) utilizados en ensayo con trigo invernal 'Maxwell-INIA'.

Table 1. Fungicidal seed treatments, artificial inoculation with *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* (Ggt), dose of commercial products and active ingredients (i.a.) used in the trial with winter wheat 'Maxwell-INIA'.

Tratamientos	Inóculo Ggt	Producto ³	Dosis i.a. ³
Testigo sin fungicida	Sin	0	0
Testigo sin fungicida	Con	0	0
Fluquinconazole + prochloraz ¹	Con	450 mL	167,2 g + 31,2 g
Fluquinconazole ²	Con	150 mL	75 g
Fluquinconazole	Con	175 mL	87,5 g
Fluquinconazole	Con	200 mL	100 g

¹ Producto comercial Galmano® plus FS (Bayer S.A.).

² Producto experimental Galmano 500 FS (Bayer S.A.).

³ En 100 kg de semilla.

ello el tejido enfermo de la raíz y cuello fue lavado varias veces para eliminar suelo, contaminantes y tejido vegetal descompuesto. Luego, trozos superficiales de dicho tejido fueron lavados con agua corriente durante 24 h, para posteriormente lavar por un minuto el material con una solución al 1% de hipoclorito de sodio, y enjuagado tres veces con agua destilada estéril, previo a ser sembrado en placas con medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (APD) bajo una cámara de flujo laminar (Laminar Workstation, Forma Scientific, modelo 1846, Waltham, Massachusetts, USA).

Evaluaciones

Todas las evaluaciones se realizaron en las tres hileras centrales de cada parcela.

Evaluación de características agronómicas

Altura de planta. La medición de altura de las plantas expresada en centímetros, se llevó a cabo alcanzada la madurez de cosecha (Z9.3). Se midió al interior de la parcela, desde la superficie del suelo hasta el extremo superior de la espiga, sin considerar sus aristas.

Índice de cosecha (%). Se determinó este índice dividiendo el peso seco de los granos por el peso seco total de la parte aérea de la planta y multiplicando por 100.

Componentes del rendimiento. El día previo a la cosecha se contabilizó el número de espigas por m². Además se colectó una muestra de 20 espigas en un metro lineal para la determinación de la cantidad de granos por espiga y el peso de 1.000 granos; para ello se realizó una trilla manual de las espigas. También se determinó la biomasa total y biomasa sin considerar granos.

Rendimiento de grano. El 22 de enero de 2013 se cosecharon las hileras centrales de cada parcela, con una cosechadora de ensayos (Winterstager Elite, Ried, Upper Austria). Los granos se limpiaron y pesaron, expresando el rendimiento en t ha⁻¹.

Evaluación de características de calidad

Peso de hectólitro. Se determinó mediante una balanza (Schopper 250 cm³, Seuzach, Suiza).

Evaluación de la enfermedad

Severidad de síntomas de la enfermedad. Se determinó visualmente la severidad de la enfermedad expresada como el porcentaje de plantas con síntomas sobre el total de la población de plantas de la parcela en el estado Z7.1 (madurez acuosa), según escala de Zadock y Schein (1979). Para ello se utilizó una escala subjetiva que va desde 0% (ausencia de plantas con síntomas de la enfermedad en la parcela) a 100% (presencia de síntomas de la enfermedad en la totalidad de

plantas presentes en la parcela).

Severidad de espigas blancas. Se determinó visualmente el porcentaje de espigas blancas presentes en cada parcela en el estado Z8.3 (comienzo del estado masoso).

Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se realizó en un diseño de bloques completos al azar, con seis tratamientos y cuatro repeticiones, donde cada unidad experimental correspondió a una parcela distribuida al azar. Los resultados se analizaron con el software estadístico SAS versión 8 (SAS, 1999), mediante análisis de varianza (ANDEVA) $p \leq 0,05$. Al existir diferencias significativas se utilizó la prueba de separación de medias DMS (Diferencia Mínima Significativa) para determinar diferencias entre tratamientos. Los datos porcentuales obtenidos fueron ajustados a la distribución normal mediante la transformación de la raíz cuadrada, a través de la fórmula $y = \sqrt{(x + 0,5)}$, donde x = valor porcentual (Little y Hills, 1976).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de características agronómicas

Altura de planta. Se alcanzaron valores promedios entre 85 a 90 cm, que corresponde a los valores descritos por INIA (2012) para la variedad 'Maxwell-INIA', correspondiente a un trigo semi-enano a enano con alturas entre 70 a 95 cm. Si bien la disminución de la altura de las plantas es uno de los síntomas característicos de la enfermedad (Latorre, 2004; Mellado, 2007; Bockus et al., 2010), no se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0,05$), pero se observó una reducción de altura en las hileras inoculadas, diferenciándose de las hileras del borde que no fueron infestadas. En general, las hileras borde al no ser inoculadas en las parcelas, no fueron afectadas por el hongo, lo que demuestra la poca movilidad que presenta el patógeno durante el ciclo del cultivo (Madariaga, 2004a).

Índice de cosecha (IC). Se observaron diferencias entre tratamientos ($P \leq 0,05$), donde el mayor IC se observó en el testigo sin inóculo, el cual fue 41% mayor al testigo inoculado y 21,1% al promedio de todos los tratamientos con fluquinconazole, estos últimos no fueron diferentes entre ellos, pero fueron diferentes de ambos testigos (Tabla 2).

Componentes del rendimiento. Los resultados promedios y sus diferencias para los distintos componentes del rendimiento evaluados se describen en la Tabla 2. El número de espigas por m² fue reducido significativamente por efecto

de la enfermedad ($P \leq 0,05$). El testigo inoculado presentó 31% menos espigas que el testigo sin inóculo. Las tres dosis evaluadas de fluquinconazole incrementaron significativamente el número de espigas en comparación al testigo inoculado, y fueron similares tanto al testigo no inoculado como a la mezcla de fluquinconazole (flu) y prochloraz (pro). Las diferentes dosis de fluquinconazole presentaron en promedio un 32% más de espigas en comparación al testigo inoculado ($P \leq 0,05$), mientras que la formulación comercial (flu + pro) generó un aumento de sólo 19% respecto a este testigo, del cual no fue estadísticamente diferente. Es interesante destacar que 'Maxwell-INIA' presenta un elevado número de granos por espiga, pero en el presente estudio este componente no mostró ninguna diferencia entre los tratamientos ($P > 0,05$), lo que indicaría que esta variable no fue afectada por la enfermedad, ya que sólo se presentó un 7% más de granos por espiga en el testigo sano cuando es comparado con el testigo inoculado. El peso de 1.000 granos fue similar para todos los tratamientos que incluyeron fungicidas ($P \leq 0,05$), siendo afectado este componente por la enfermedad mal del pie. Los tratamientos de semillas incrementaron el peso de los granos entre 6,5% (flu + pro) hasta 15,4% (87,5 g i.a.) en comparación al testigo inoculado, pero este incremento resultó significativo sólo para la dosis de 87,5 g i.a.

Los tratamientos testigo no inoculado y fluquinconazole 87,5 g presentaron los mayores

valores de peso de 1.000 granos, superando el promedio de 42 g que describe SAG (2012) para 'Maxwell-INIA'. La biomasa sin considerar granos ($t\ ha^{-1}$) no presentó diferencias entre los tratamientos ($P > 0,05$), mientras que la biomasa total presentó diferencias entre tratamientos ($P \leq 0,05$). La suma del rendimiento de grano con el resto de la biomasa mostró que todos los tratamientos inoculados tuvieron una biomasa similar y fueron diferentes del testigo sin inóculo.

Rendimiento de grano. El rendimiento del testigo sin inóculo alcanzó un promedio de 12,5 $t\ ha^{-1}$, superando el rendimiento potencial promedio de 11,2 $t\ ha^{-1}$ que ha sido reportado para este cultivar (Jobet et al., 2012; INIA, 2012) (Figura 1A). 'Maxwell-INIA' es el genotipo de trigo que entregó los rendimientos de grano más altos durante el ciclo agrícola 2012-2013 (INIA, 2012). Trabajos realizados anteriormente han demostrado que la magnitud de las pérdidas de rendimiento obtenidas bajo condiciones de inoculación artificial fluctúan entre un 47% y 90% (Andrade 1995b; Andrade, 2004); en este ensayo se alcanzaron niveles de reducción del rendimiento cercanos al 48,5% al comparar ambos testigos (6,3 $t\ ha^{-1}$ promedio). Todos los tratamientos que utilizaron desinfectantes a la semilla aumentaron el rendimiento en comparación al testigo inoculado, sin presentar diferencias significativas entre ellos. Cabe destacar que las tres dosis de fluquinconazole mostraron un rendimiento estadísticamente

Tabla 2. Promedios de índices de cosecha (IC) y componentes de rendimiento obtenidos al evaluar distintos tratamientos desinfectantes de semilla para el control de mal del pie en trigo invernal 'Maxwell-INIA'.

Table 2. Average harvest rates (IC) and yield components obtained when evaluating different seed disinfection treatments for the control of take-all in 'Maxwell-INIA' winter wheat.

Tratamiento	IC	Espigas m^2	Granos espiga ⁻¹	Peso 1.000 granos	Biomasa sin granos	Biomasa total
		----- N°-----		(g)	----- $t\ ha^{-1}$ -----	
Testigo sin inóculo	0,47 a	563,8 a	55,2 a	46,9 a	14,38 a	26,86 a
Testigo con inóculo	0,33 c	388,8 c	51,7 a	37,3 c	12,75 a	19,04 b
Flu + pro ¹	0,41 b	462,5 bc	52,9 a	39,7 bc	11,29 a	19,21 b
Flu ² [75] ³	0,39 b	516,3 ab	54,5 a	39,9 bc	12,33 a	20,26 b
Flu [87,5]	0,40 b	512,5 ab	53,1 a	43,0 ab	13,17 a	21,85 b
Flu [100]	0,40 b	511,3 ab	53,5 a	40,4 bc	12,92 a	21,52 b
Probabilidad	0,002	0,004	0,84	0,008	0,163	0,001
CV ⁴	8,19%	10,1%	7,32%	7,39%	11,62%	8,73%

¹ Producto comercial Galmano® plus FS (Bayer S.A.), basado en fluquinconazole (flu) en dosis de 167,2 g en 100 kg de semilla y prochloraz (pro) en dosis 31,2 g en 100 kg de semilla.

² Producto experimental Galmano 500 FS (Bayer S.A.) a base de fluquinconazole (flu).

³ [X] = Dosis de i.a. de fluquinconazole en 100 kg de semilla.

⁴ Coeficiente de variación.

similar al producto de referencia (flu + pro), logrando incrementos de rendimiento entre 26 a 38% en comparación al testigo inoculado y sin fungicida (1,6 a 2,4 t ha⁻¹ de incremento para las distintas dosis de fluquinconazole).

Evaluación de peso hectólitro

El peso de hectólitro es un parámetro importante en trigo, ya que está relacionado al rendimiento de harina que se puede obtener a partir de los granos. Madariaga (1995) afirma que la calidad del grano medida como peso hectólitro se ve seriamente afectada por mal del pie. En el presente estudio, el mayor efecto de la enfermedad fue observada como una disminución sobre el peso de hectólitro y peso del grano, lo cual también ha sido observado por otros autores como Andrade (1995b). En este estudio las pérdidas de rendimiento producidas por la disminución del peso de hectólitro observado en el testigo inoculado corresponde a 6,2 t ha⁻¹, equivalente a un 44,9%

de pérdida, lo cual demuestra lo destructiva que puede llegar a ser la enfermedad.

Por su parte, los valores de peso de hectólitro promedio obtenidos en el testigo sin inóculo y en las dosis de fluquinconazole, aunque menores, fueron cercanos al rango esperado para 'Maxwell-INIA', cuyo peso de hectólitro generalmente fluctúa entre 76 y 80 kg hL⁻¹ (SAG, 2012). Los incrementos por efecto de fluquinconazole estarían relacionados al mayor rendimiento observado en estos tratamientos con respecto al testigo inoculado ($P \leq 0,05$), lo que concuerda con lo expresado por Andrade (2004), quien afirma que la expresión de la enfermedad sobre el peso de hectólitro y peso de grano, correlacionan bien cuando se traducen en pérdidas de rendimiento superiores al 65%, a diferencia de pérdidas menores donde estos parámetros son menos consistentes. Si bien, el peso de hectólitro fue severamente afectado producto de la enfermedad, y ninguna de las plantas tratadas con los desinfectantes de

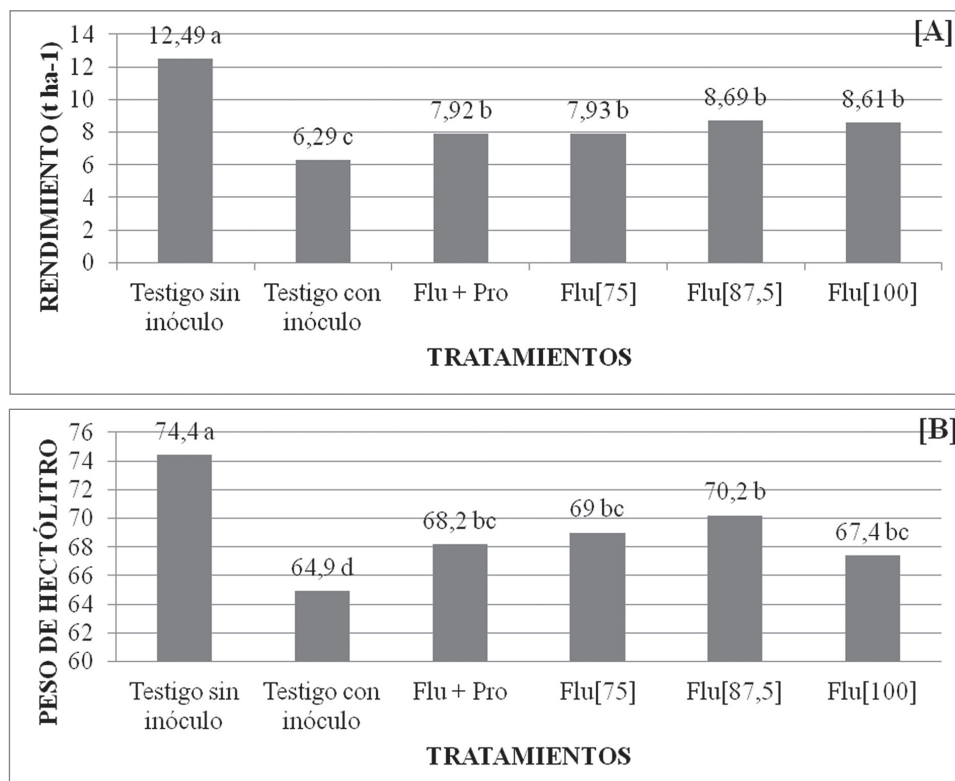


Fig. 1. Promedios de rendimiento de grano (t ha⁻¹) [A] y peso de hectólitro [B] obtenido en trigo 'Maxwell-INIA', inoculado y no inoculado con *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, tratados con distintas dosis de fluquinconazole (flu) + prochloraz (pro), temporada 2011-2012. Coeficiente de variación = 9,81% [A] y 1,5% [B].

Fig. 1. Average grain yield (t ha⁻¹) [A] and hectolitre weight [B] observed in 'Maxwell-INIA' wheat inoculated and non-inoculated with *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, treated with different doses of fluquinconazole (flu) or prochloraz (pro), season 2011-2012. Coefficient of variation = 9.81% [A] and 1.5% [B].

semilla alcanzaron un peso de hectólitro similar al tratamiento no inoculado con el patógeno, la formulación comercial (flu + pro) logró un 5,1% de aumento en el peso de hectólitro, mientras la dosis media de fluquinconazole (85,7 g i.a.) alcanzó un 8,2% (Figura 1B).

Evaluación de la enfermedad

La evaluación de severidad de síntomas de la enfermedad sobre las parcelas fue realizada el 26 de noviembre de 2012 (165 días post siembra [dps]), cuando las plantas estaban en estado Z7.1 (madurez acuosa). Los primeros síntomas de la enfermedad fueron observados a partir del 17 de agosto de 2012, aproximadamente dos meses después de la siembra (64 dps), acrecentándose su presencia desde macolla en adelante (Z2) en el testigo inoculado y sin fungicida. Si bien las pudriciones radicales pueden ocurrir en trigos precoces, estas pudriciones se concentran mayormente en siembras tempranas (otoño), dado que

las plantas se encuentran en el potrero durante un periodo más largo en contacto con el inóculo, y es la razón por lo que atrasar la fecha de siembra en trigo genera una disminución de las pudriciones radicales y un aumento en el rendimiento. Estudios realizados en Francia, en base a fluquinconazole, muestran una reducción de mal del pie del 15% en la etapa de plena floración y un control del 52% de la pudrición de raíz al término de floración (Hornby y Beale, 2000). En el presente estudio, la enfermedad se presentó en un nivel severo en las parcelas donde fue inoculada de forma artificial, permitiendo observar un 75% de síntomas en las plantas del testigo inoculado en estado de madurez acuosa (Figura 2), logrando simular la expresión de la enfermedad en el sitio experimental, determinándose diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0,05$).

Es por ello, que la metodología empleada ha sido ampliamente utilizado en Chile, en ensayos de campo (Andrade, 2004). Los cuatro tratamien-

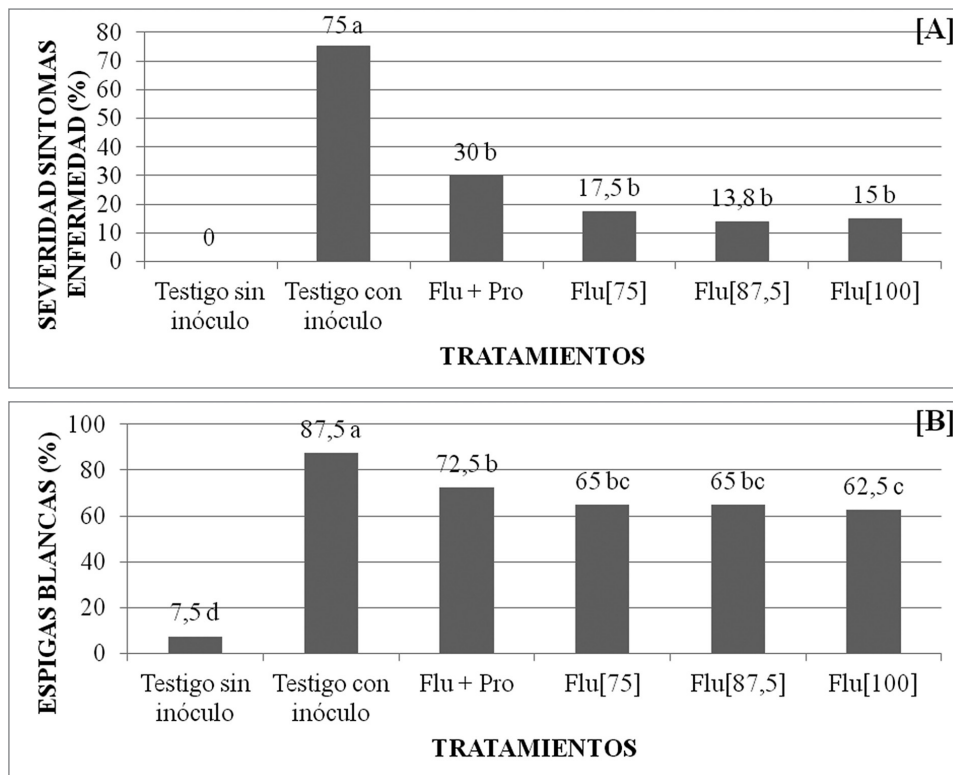


Fig. 2. Promedios de severidad de síntomas de la enfermedad [A] y severidad de espigas blancas [B] obtenido en trigo 'Maxwell-INIA', inoculado y no inoculado con *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, tratados con distintas dosis de fluquinconazole (flu) + prochloraz (pro), temporada 2011-2012. Fecha evaluación: [A] 26 noviembre de 2012, [B] 17 diciembre de 2012.

Fig. 2. Average levels of severity of disease symptoms [A] and severity of white heads [B] observed in 'Maxwell-INIA' wheat inoculated and non-inoculated with *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, treated with different doses of fluquinconazole (flu) or prochloraz (pro), season from 2011-2012. Evaluation date: [A] november 26, 2012, [B] december 17, 2012.

tos que consideraban desinfectantes a la semilla se mostraron efectivos, logrando disminuir la severidad de los síntomas entre un 60 a 81,7% con respecto al testigo inoculado.

La espigadura comenzó el día 14 de noviembre de 2012 (153 dps), detectándose presencia de espigas blancas en las parcelas evaluadas a partir del día 26 de noviembre de 2012 (165 dps), realizándose la evaluación de severidad el 17 de diciembre (Z8.3, comienzo estado masoso, 156 dps). Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos para esta variable ($P \leq 0,05$), donde el testigo no inoculado presentó el menor porcentaje de espigas blancas (7,5% en promedio), mientras el testigo inoculado y sin aplicación de fungicida presentó en promedio un 87,5% de espigas blancas. Todos los tratamientos con fluquinconazole fueron diferentes de ambos testigos, destacando la dosis más alta de fluquinconazole (100 g i.a.), que disminuyó en un 29% el porcentaje de espigas blancas con respecto al testigo con inóculo, y tuvo un 12% menos de espigas blancas con respecto a la formulación comercial, siendo estadísticamente diferente de este último.

‘Maxwell-INIA’ destaca por su resistencia a polvillo estriado (*Puccinia striiformis*), polvillo colorado de la hoja (*P. tritricina*) y oidio (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici* Marchal), además de presentar tolerancia a septoriosis (*Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt) (Jobet et al., 2012). Sin embargo, es considerado susceptible a enfermedades radiculares, por lo que su utilización fue adecuada para efectos de esta investigación ya que fue altamente susceptible a mal del pie, al igual que otras variedades empleadas en otros estudios como: ‘Dalcahue-INIA’ (Campillo et al., 2001; Andrade, 2004); ‘Renaico-INIA’ (Andrade, 2004); ‘Lanco-INIA’ y ‘Lancero-INIA’ (Andrade, 1995b). Además, el aislamiento Ggt utilizado fue lo suficientemente virulento para expresar la patología, pero las metodologías de evaluación fueron diferentes entre los estudios antes mencionados, por lo cual no permite hacer una comparación de susceptibilidad en el comportamiento de las variedades utilizadas.

La proporción de inóculo 1:1 ha resultado efectiva para generar enfermedad en ensayos de campo, pero en este estudio se utilizó una proporción más baja (1:3), con el objetivo de generar daños significativos en rendimiento y otras características agronómicas; no obstante, las plantas inoculadas alcanzaron niveles de severidad en las parcelas del testigo inoculado de hasta un 75% de infección. Esto permite considerar que el uso de granos de avena infestados artificialmente con Ggt asegura una alta homogeneidad de la infección bajo condiciones de campo. Lo anterior se ve refrendado al observar los coeficientes de varia-

ción del experimento, que fueron relativamente bajos para cada una de las variables evaluadas, a excepción de la estimación visual de la severidad de espigas blancas, que fue la única variable que presentó un alto coeficiente de variación ($CV = 50$), lo cual pudo deberse a que el testigo no inoculado presentó un bajo porcentaje de espigas blancas comparado con los otros tratamientos. Las parcelas testigos sin inocular y sin fungicida presentaron ocasionalmente algunos síntomas de mal del pie, lo que podría generarse porque el sitio experimental fue establecido en el vivero PURAT, por lo que la enfermedad se presenta de manera natural en ese sector en los niveles reportados en este trabajo (2% severidad promedio).

Actualmente, en Chile se comercializan diferentes productos químicos sistémicos usados en la desinfección de semillas para el control de mal del pie en base a i.a. como azoxistrobina (PRIORIO®, Syngenta), difeconazole (DIVIDEN®, Syngenta), fenbuconazole (INDAR FLO®, ANASAC), silthiofam (LATITUDE®, Arysta LifeScience), triadimenol (BAYTAN®, Bayer S.A.); triticonazole (REAL®, BASF-REFLEX®, Bayer S.A.) o la mezcla de fluquinconazole + prochloraz (GALMANO® PLUS 198,2 FS, Bayer S.A.) y cuyos efectos por lo general han demostrado tener un control parcial sobre la enfermedad (AFIPA, 2008), ya que generan mayores rendimientos en las plantas, aunque éstos son inferiores a los obtenidos en plantas desarrolladas en ausencia de la enfermedad.

Estudios realizados en la Región del Biobío y de la Araucanía han demostrado que triticonazole, triadimenol, silthiofam y fenbuconazole retardan y/o disminuyen la infección de mal del pie, generando un aumento significativo del rendimiento y la calidad del grano (Andrade, 1995b; Bateman et al., 2004; BASF, 2010). Triticonazole ha logrado un aumento promedio de rendimiento de 62,4%, triadimenol de 46,9%, y fenbuconazole de 14,6% (Andrade, 2004); los cuales, a excepción de fenbuconazole, son mayores en un 24,3% y 8,88%, respectivamente, a los observados usando la dosis media de fluquinconazole (87,5 g i.a.) que fue utilizada en este estudio. Sin embargo, triticonazole y triadimenol como tratamientos desinfectantes a la semilla han sido reportados con un grado de efectividad variable; los estudios de Andrade (2004) muestran que triadimenol varió entre 0 a 150% en el incremento del rendimiento en 14 de los ensayos realizados durante tres temporadas de experimentación. El menor rendimiento obtenido al utilizar el i.a. fluquinconazole en el presente estudio comparado con el estudio de Andrade (2004) podría explicarse porque este autor aplicó un esterilizante al suelo (Dazomet, Basamid G) previo a la siembra, lo cual pudo disminuir la presencia de otras enfer-

medades. Adicionalmente, el estudio de Andrade (2004) utilizó una mayor cantidad de inóculo, lo que se relaciona directamente con el daño experimentado por las plantas tanto en su rendimiento como en calidad de grano (Madariaga, 1995); además, ocupó trigos con hábitos de desarrollo diferente, ya que este autor utilizó un trigo primaveral ('Dalcahue-INIA') y uno alternativo ('Renaico-INIA'), mientras que para este estudio se utilizó un trigo invernal.

Finalmente, los resultados de esta experiencia demostraron que el fungicida fluquinconazole fue capaz de disminuir el daño causado por mal del pie bajo condiciones de inoculación artificial, por lo que su uso es promisorio para el control de la enfermedad en trigo. Cabe considerar, que la magnitud del control y eficacia de este fungicida deberá estar directamente relacionada con la integración de un conjunto de prácticas culturales incorporadas al sistema de producción que contribuyan a disminuir el problema. Por lo tanto, es de gran importancia continuar estudiando nuevas alternativas para el control de mal del pie en trigo, basadas en el uso de fluquinconazole, especialmente en sementeras de la zona sur de Chile donde se producen las mayores pérdidas para los agricultores.

CONCLUSIONES

Los tratamientos con diferentes dosis de fluquinconazole presentaron un comportamiento y rendimiento estadísticamente similar al producto de referencia (flu + pro) tanto en el IC, como en los componentes de rendimiento y rendimiento de grano evaluados en este estudio.

Los tratamientos que sólo presentaban el i.a. fluquinconazole en las tres dosis estudiadas (75, 87,5 y 100 g i.a.) fueron capaces de generar un aumento significativo en el rendimiento, peso de hectólitro e índice de cosecha, en relación al testigo inoculado.

Los i.a. evaluados como desinfectantes a la semilla son eficaces para reducir la severidad y síntomas de la enfermedad mal del pie en trigo.

LITERATURA CITADA

- AFIPA 2008. Manual Fitosanitario 2009-2010. Asociación Nacional de Fabricantes e Importadores de Productos Fitosanitarios Agrícolas A.G. (AFIPA) – Importadores y Productores de Productos Fitosanitarios para la Agricultura A.G. (IMPPA). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Andrade, O. 1995a. Como prevenir la pudrición radical o mal del pie del trigo. En Seminario de Protección Vegetal. 29 de agosto 1995. Serie Carillanca N° 45. INIA Carillanca, Temuco, Chile.
- Andrade, O. 1995b. Fungicida al suelo aplicado al momento de la siembra: nueva alternativa para el control de enfermedades en cereales. Boletín Técnico N° 170. INIA Carillanca, Temuco, Chile.
- Andrade, O. 2004. Efectividad de diferentes desinfectantes de semilla sobre la pudrición radical (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) del trigo en el sur de Chile. Agric. Téc. (Chile) 64(2):111-126.
- BASF. 2010. Real ®: amplia protección fungicida para sus semillas. 4p. BASF, Santiago, Chile.
- Bateman, G., R. Gutteridge, and J. Jenkyn. 2004. Take-all and grain yields in sequences of winter wheat crops testing fluquinconazole seed treatment applied in different combinations of years. *Annals of Applied Biology* 145(3):317-330.
- Bateman, G., R. Gutteridge, J. Jenkyn, and M. Self. 2008. Effects of fluquinconazole and silthiofam applied as seed treatments to single or consecutive crops of wheat, on take-all epidemic development and grain yields. *Annals of Applied Biology* 152(2):243-254.
- Bockus, W., R. Bowden, R. Hunger, W. Morrill, T. Murray, and R. Smiley. 2010. Compendium of wheat diseases and pests. 3rd. ed. The American Phytopathological Society, Saint Paul, Minnesota, USA.
- Campillo, R., O. Andrade, y E. Contreras. 2001. Variaciones del contenido de Mn de dos suelos sometidos a esterilización y su efecto sobre la pudrición radical o "mal del pie" del trigo. *Agric. Téc. (Chile)* 61(3):339-351.
- Cook, R. 2003. Take-all of wheat. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 62(2):73-86.
- Curtis, H., S. Barnes, A. Schnek, y A. Massarini. 2008. *Biología*. 7a. ed.. Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina.
- Danty, J., y M. Olfos. 2012. Boletín de trigo: enero y febrero de 2012. ODEPA. Disponible en <http://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servicios-informacion/Boletines/BTrigo_ene-feb12.pdf (Consulta 10 marzo 2013)
- Dawson, W., and G. Bateman. 2000. Sensitivity of fungi from cereal roots to fluquinconazole and their suppressiveness towards take-all on plants with or without fluquinconazole seed treatment in a controlled environment. *Plant Pathology (Oxf.)* 49(4):477-486.
- Dawson, A., and G. Bateman. 2001. Fungal communities on roots of wheat and barley and effects of seed treatments containing fluquinconazole applied to control take-all. *Plant Pathology* 50(1):75-82.
- Hornby, D., and R. Beale. 2000. Take-all: manage-

- ment guide. 39 p. Monsanto, Cambridge, UK.
- Huber, D., and T. McCay-Buis. 1993. A multiple component analysis of the take-all disease of cereals. *Plant Dis.* 77(5):437-447.
- INIA. 2012. Semilla de trigo Maxwell: rendimiento y sanidad. INIA La Platina, Santiago, Chile. Disponible en <http://www.semillasinia.cl/wp-content/uploads/2012/09/MaxwellINIA.pdf> (Consultado 10 julio 2014)
- Jenkyn, J., G. Bateman, R. Gutteridge, and S. Edwards. 2000. Effects of foliar sprays of azoxystrobin on take-all in wheat. *Annals of Applied Biology* 137(2):99-106.
- Jobet, C., R. Madariaga, e I. Matus. 2011. Madurez del cultivo: control de enfermedades. p. 34-39. En *Cropcheck Chile. Manual de recomendaciones cultivo de trigo*. Fundación Chile, Santiago, Chile.
- Jobet, C., I. Matus, R. Campillo, J. Zúñiga, J. García, y V. Lein. 2012. Maxwell, nueva variedad de trigo de invierno con genes de parientes silvestres. *Tierra Adentro* (100):10-14.
- Latorre, B. 2004. *Enfermedades de las plantas cultivadas*. 4a. ed. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Little, T., y F. Hills. 1976. *Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura*. Trillas, México D.F., México.
- Madariaga, R. 1995. Podredumbres radiculares causadas por *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. En M. Kohli, J. Annone y R. García (eds.). *Curso de manejo de enfermedades del trigo: las enfermedades del trigo en el Cono Sur*. 29-31 de agosto, 1995. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo / Centro Internacional de Capacitación "Dr. Norman E. Borlaug", Texcoco, México.
- Madariaga, R. 2004a. Enfermedades. p. 103-128. En M. Mellado (ed.). *Boletín de trigo 2004: manejo tecnológico*. Boletín INIA N°114. INIA Quilamapu, Chillán, Chile.
- Madariaga, R. 2004b. El mal del pie de trigo. *Revista Tattersall* (187):6-7.
- Mellado, M. 2007. *El trigo en Chile: cultura, ciencia y tecnología*. Colección Libros INIA N° 21. INIA Quilamapu, Chillán, Chile.
- Russell, P., C. Gaujard, P. Creange, and A. Daniels. 2001. Aspects of take-all control by fluquinconazole. In H.-W. Dehne, U. Gisi, K.-H. Kuck, P. Russell and H. Lyr (eds.). *Modern fungicides and antifungal compounds III: 13th. International Reinhardtsbrunn Symposium*. May 14-18, 2001. AgroConcept, Bonn, Germany.
- SAS 1999. *The SAS system for Windows*. Version 8 [cd-rom]. Cary, North Caroline, USA.
- SAG. 2012. *Variedades certificadas de trigo [trípico]*. INIA Quilamapu, Chillán, Chile.
- Sieling K., K. Ubben, and O. Christen. 2007. Effects of preceding crop, sowing date, N fertilization and fluquinconazole seed treatment on wheat growth, grain yield and take-all. *Plant Dis. Protect.* 114(5):213-220.
- Zadoks, J., and R. Schein. 1979. *Epidemiology and plant disease management*. Oxford University Press, New York, USA.