

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA DE CULTIVARES DE TRIGO Y CEBADA
ENTORNO A ESPIGAZÓN-ANTESIS- LLENADO DE GRANO ASOCIADO A
LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA**

por

**Miguel Angel BADIOLA ELHORDOY
Germán RUSSO BELLINI**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2020**

Tesis aprobada por:

Director:

PhD. (Ing. Agr.) Silvia Pereya

PhD. (Ing. Agr.) Carlos Pérez

MSc. (Ing. Agr.) Luis Viega

Fecha:

7 de febrero de 2020

Autores:

Miguel Angel Badiola Elhordoy

Germán Russo Bellini

AGRADECIMIENTOS

Tenemos la consideración de agradecer en primer grado a nuestros seres queridos que desde el inicio de esta linda carrera nos apoyan y se esfuerzan en todo momento para darnos la posibilidad de formarnos como agrónomos, resultando un pilar fundamental en todo el camino recorrido.

También agradecer a las empresas en las que trabajamos cada uno de nosotros que nos han permitido en jornadas laborales reunirnos con nuestra tutora para avanzar en el desarrollo de esta tesis.

Es de especial consideración el agradecimiento que debemos realizar a Silvia Pereyra por todo el tiempo que incurrimos en realizar consultas, correcciones del trabajo, por todo tu apoyo inconmensurable que siempre has dedicado a cada uno de nosotros.

Debemos agradecer a todo el equipo de INIA La Estanzuela quienes colaboraron con nosotros durante el trabajo de campo, especialmente a Néstor González, William Álvarez y Samuel Rabaza.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1 LOS CULTIVOS DE CEBADA Y TRIGO EN URUGUAY.....	2
2.2 FUSARIOSIS DE LA ESPIGA.....	5
2.2.1 <u>Agentes causales</u>	6
2.2.2 <u>Importancia económica a nivel mundial</u>	7
2.2.3 <u>Importancia económica de FE en Uruguay</u>	9
2.3 EPIDEMIOLOGÍA Y CICLO.....	11
2.3.1 <u>Factores que favorecen el desarrollo de la FE</u>	11
2.3.1.1. Condiciones climáticas favorables.....	11
2.3.2 <u>Ciclo biológico</u>	13
2.3.3 <u>Infección y desarrollo de la enfermedad</u>	14
2.3.3.1. Tipo de inóculo.....	16
2.3.3.2. Fuentes de inóculo y supervivencia.....	16
2.3.3.3. Diseminación.....	18
2.3.3.4. Hospederos.....	18
2.3.4 <u>Síntomas</u>	18
2.4 MANEJO DE LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA.....	19
2.4.1 <u>Resistencia genética</u>	19
2.4.2 <u>Diversificación de la fecha de floración</u>	21
2.4.3 <u>Rotación de cultivos</u>	21
2.4.4 <u>Control químico</u>	22
2.4.4.1. Uso de modelos de predicción para la toma de decisión de control químico.....	24
2.5 FENOLOGÍA DE TRIGO Y CEBADA.....	27
2.5.1 <u>Definición</u>	27
2.5.2 <u>Ciclo del cultivo</u>	27
2.5.3 <u>Factores ambientales que inciden en el desarrollo de trigo y cebada</u>	28
2.6 ETAPAS DE DESARROLLO. PROCESOS FISIOLÓGICOS (COMPARATIVA ENTRE TRIGO Y CEBADA).....	31
2.6.1 <u>Establecimiento y pre-macollaje</u>	31
2.6.2 <u>Macollaje</u>	32
2.6.3 <u>Encañazón, espigazón, antesis</u>	33

2.6.4	<u>Llenado de granos y madurez fisiológica</u>	34
3.	<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	36
3.1	DATOS CLIMÁTICOS.....	37
3.2	FENOLOGÍA Y FUSARIOSIS DE LA ESPIGA.....	37
3.2.1	<u>Trigo ciclo largo</u>	37
3.2.2	<u>Trigo ciclo intermedio</u>	38
3.2.3	<u>Cebada</u>	39
3.3	DETERMINACIONES.....	39
3.4	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	42
4.	<u>RESULTADOS</u>	44
4.1	DATOS CLIMÁTICOS GENERALES.....	44
4.2	FENOLOGÍA.....	47
4.2.1	<u>Trigo - ciclo Largo</u>	47
4.2.1.1.	La Estanzuela, siembra del 18 de mayo de 2013.	47
4.2.1.2.	La Estanzuela, siembra del 18 de junio de 2013..	51
4.2.1.3.	Young, siembra del 10 de mayo del 2013.....	55
4.2.2	<u>Trigo - ciclo intermedio</u>	57
4.2.2.1.	La Estanzuela, siembra del 06/06/2013.....	57
4.2.2.2.	La Estanzuela, siembra del 27/06/2013.....	61
4.2.2.3.	Young, siembra del 05/06/2013.....	64
4.2.3	<u>Cebada</u>	66
4.2.3.1.	La Estanzuela, siembra del 06/06/2013.....	66
4.2.3.2.	Young, siembra del 05/06/2013.....	69
4.3	FUSARIOSIS DE LA ESPIGA (FE).....	72
4.3.1	<u>Fusariosis a campo, trigo ciclo largo</u>	72
4.3.2	<u>Fusariosis a campo trigo ciclo intermedio</u>	72
4.3.3	<u>Fusariosis a campo cebada</u>	74
4.3.4	<u>Fusariosis en grano cosechado trigo ciclo largo</u>	74
4.3.5	<u>Fusariosis en grano cosechado en trigo intermedio</u>	75
4.3.6	<u>Fusariosis en grano cosechado en cebada</u>	76
5.	<u>DISCUSIÓN</u>	78
6.	<u>CONCLUSIONES</u>	83

7. <u>RESUMEN</u>	85
8. <u>SUMMARY</u>	86
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	87
10. <u>ANEXOS</u>	104

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.		Página
1.	Incidencia de FE según distintas combinaciones de temperatura y duración de agua libre en espigas.....	13
2.	Cultivares de trigo y cebada, ciclo y comportamiento frente	36
3.	Espiguillas con FE (%) en los cultivares de trigo.....	72
4.	Espiguillas con FE (%) en los cultivares de trigo.....	73
5.	Espiguillas con FE (% severidad) en los cultivares de cebada.....	74
6.	Granos con <i>Fusarium</i> (%) luego de la cosecha en cultivares de trigo.....	74
7.	Granos con <i>Fusarium</i> (%) luego de la cosecha en los cultivares de trigo.....	75
8.	Granos con <i>Fusarium</i> (%) luego de la cosecha en los cultivares de cebada.....	76
Figura No.		
1.	Área sembrada de trigo y cebada en Uruguay en el periodo 1990 al 2015.....	3
2.	Rendimiento en grano promedio nacional de trigo y cebada en el periodo 1990 al 2015.....	4
3.	Ciclo biológico de la fusariosis de la espiga de trigo.....	15
4.	Etapas del ciclo de cultivo.....	28
5.	Longitud de una etapa y tasa de desarrollo en función de la temperatura.....	29
6.	Longitud de una etapa en función de la duración del día.....	30
7.	Esquema de la generación de macollos y hojas y crecimiento del tallo y la espiga.....	33
8.	Evolución del peso de grano, agua y el porcentaje de humedad en función del tiempo expresado en días desde la anthesis del cultivo.....	35
9.	Esquema de encintado de espigas según los distintos estados fenológicos estudiados en cultivares de trigo.....	40
10.	Escala para la evaluación de retención de anteras.....	41
11.	Esquema de encintado de espigas según los distintos estados fenológicos estudiados en cultivares de cebada.....	44
12.	Temperaturas medias y lluvias, humedad relativa	45

	decádicas registradas por la estación climática.....	
13.	Lluvias y humedad relativa decádicas registradas por la estación climática.....	46
14.	Temperatura media decádicas registrada por la estación climática de Inumet y HOBO ® en 2013.....	47
15.	Lluvias y humedad relativa decádicas registradas por la estación climática.....	49
16.	Estados fenológicos.....	51
17.	Porcentaje de retención de anteras.....	53
18.	Estados fenológicos.....	54
19.	Porcentaje de retención de anteras de Génesis 2359 y Génesis 2346.....	56
20.	Estados fenológicos.....	59
21.	Estados fenológicos.....	60
22.	Porcentaje de retención de anteras de INIA.....	62
23.	Estados fenológicos.....	63
24.	Porcentaje de retención de anteras de INIA.....	65
25.	Estados fenológicos.....	68
26.	Estados fenológicos.....	71

1. INTRODUCCIÓN

El golpe blanco o fusariosis de la espiga (en adelante FE) es una enfermedad destructiva en trigo y cebada, capaz de reducir el rendimiento y calidad física e industrial del grano, y además producir micotoxinas que afectan la salud humana y animal. La gran variedad de especies susceptibles en el sistema de producción, junto a la adopción de prácticas a favor del mantenimiento y conservación de los suelos que dejan una alta cantidad de rastrojo en la superficie causan que el inóculo se mantenga siempre presente en los mismos.

Lo anteriormente planteado sumado a la escasa resistencia de los cultivares presentes en el mercado, y a la dificultad que conlleva realizar el control químico, el cual debe realizarse siempre de forma preventiva, resulta en un considerable riesgo de ocurrencia de epifitas. Debido a que ninguna práctica de manejo por sí sola es capaz de lograr un control eficiente de la FE, se apuesta a la adopción de un conjunto de distintas prácticas de manejo. En el país, desde 1977 se viene investigando en distintas medidas incluyendo resistencia genética en cultivares, control químico y prácticas culturales, así como herramientas de predicción.

El momento fenológico más susceptible para la infección a FE es entorno a antesis en trigo y a espigazón en cebada. Las condiciones climáticas en este período son fundamentales en el proceso infeccioso, por lo cual se ha desarrollado la utilización de modelos para predecir su riesgo. Por ello, en la presente investigación se realizó el estudio de cultivares representativos de trigo y cebada a nivel de la producción nacional con los siguientes objetivos:

- Caracterizar la fenología de cultivares de trigo y cebada entorno a la espigazón-antesis-llenado de grano, y estudiar su interacción con las condiciones climáticas (humedad relativa, temperatura, radiación, mojado de hoja, y de espiga, entre otras), y la severidad de la FE.
- Caracterizar la extrusión de anteras (proceso que ocurre en la floración y es diferente según se trate de cebada o trigo) de los distintos cultivares de trigo y cebada y asociarlo a la infección de FE.

Principalmente se plantea la necesidad de asociar los distintos estados fenológicos a las condiciones climáticas, para ello se marcaron en los tallos principales y en los surcos centrales de cada parcela experimental los distintos estados fenológicos identificándolos con cintas de diferentes colores y anotando la fecha de aparición. El trabajo permitió entre otras cosas, aportar conocimientos para el ajuste y validación de modelos de predicción para FE en Uruguay.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 LOS CULTIVOS DE CEBADA Y TRIGO EN URUGUAY

El trigo (*Triticum aestivum* L) y la cebada (*Hordeum vulgare* subsp. *vulgare* L), son dos de los cereales más cultivados a nivel mundial. En términos de la relación entre existencias y utilización global, el trigo supera a la cebada. Entre los años 2005/2006 al 2009/2010 la relación entre existencias y utilización mundial para trigo fue de 25,2% indicando el alto porcentaje que posee el consumo de trigo en el mundo (75% de los suministros (producción más existencias al final del ejercicio del año anterior) y para los cereales secundarios (incluida la cebada) del 16,4% en promedio (FAO, 2013).

Desde el año 2013 al 2017 hubo un incremento notorio en la producción de trigo pasando de los 654.9 a los 758 millones de toneladas (FAO, 2017), en 2017 la producción de trigo fue de 744,5 millones de toneladas de grano, lo que supone un descenso del 1,8% con respecto al récord registrado en 2016, para 2018 se estimó en 722,4 millones de toneladas que representa el nivel más bajo desde 2013, en el caso de los cereales secundarios (incluida la cebada) la producción mundial en 2018 ascendió a 1356 millones de toneladas que supuso 35,6 millones de toneladas menos que la producción registrada en 2017. La producción mundial de trigo en 2019 se situó en 763.4 millones de toneladas (FAO, 2020).

Es importante destacar que, en los países en desarrollo, la demanda de cereales ha crecido con mucha mayor rapidez que la producción. Las importaciones netas de cereales de estos países aumentaron desde 39 millones de toneladas anuales a mediados de los años 70' hasta 103 millones de toneladas en 1997-99, lo que representó pasar del 4% de su consumo de cereales al 9% (FAO, 2016). Por lo que, en los próximos años, es probable que aumente esta dependencia de las importaciones. En el año 2030, los países en desarrollo importaron anualmente 265 millones de toneladas de cereales, es decir, el 14% de su consumo (FAO, 2013).

Ahora bien, en Uruguay históricamente el trigo ha superado a la cebada en área de siembra desde sus inicios en la década de los 1950's a 1960's (MGAP. DIEA, 2019, Figura 1).

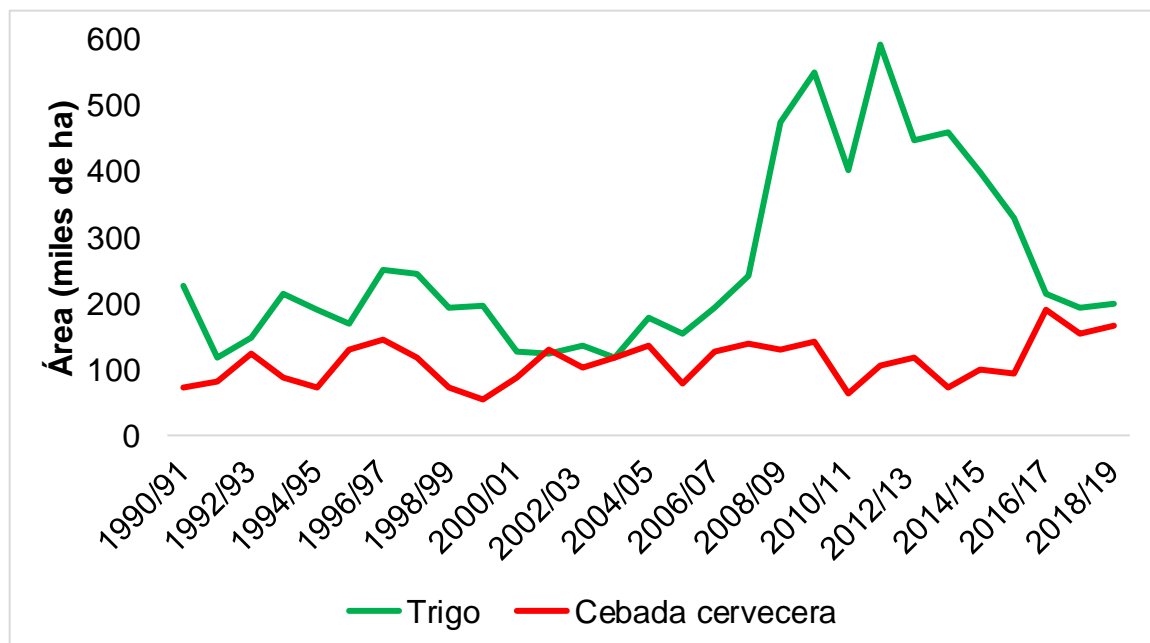


Figura 1. Evolución del área sembrada de trigo y cebada en Uruguay en el período 1990 al 2018

Fuente: tomado de MGAP. DIEA (2019).

La superficie sembrada con trigo se incrementó entre el periodo comprendido entre 2003 y 2012 debido al aumento a nivel internacional de los precios de los commodities, y la llegada de nuevos productores (principalmente argentinos). Luego de la zafra del año 2012 y hacia la zafra del año 2016 hubo un descenso en el área de trigo manteniéndose en el mismo periodo similar el área de cebada que aumentó en la zafra 2016 (MGAP. DIEA, 2016).

La expansión del área de cebada se dio principalmente debido a: i) las dificultades soportadas por el trigo en lo productivo y en la comercialización frente a la certeza comercial contractual de la cebada cervecera; ii) las facilidades de acceso al financiamiento del cultivo que brinda el esquema de la cebada; y iii) la inversión industrial a comienzos de los 90 que casi triplicó la producción industrial de malta (MGAP. OPYPA, 2003), sin embargo, el área siempre se mantuvo por debajo de la de trigo, relacionándose en parte a la capacidad de malteo de la industria nacional, y a la evolución de los precios donde generalmente el precio de trigo se ubica por encima del de cebada (MGAP. DIEA, 2015).

La estimación del área sembrada de trigo en 2018 fue de 204 mil hectáreas, casi un 6 % más que en la zafra anterior en la que se sembraron 193

mil hectáreas, el área sembrada de cebada cervecera se estimó en 172 mil hectáreas, un 13 % más que en 2017 cuando se sembraron 153 mil hectáreas (MGAP. DIEA, 2018).

A su vez el incremento en los rendimientos nacionales en ambos cultivos (Figura 2) puede estar asociada al uso de mayor tecnología, así como de cultivares con mayores potenciales de rendimiento.¹

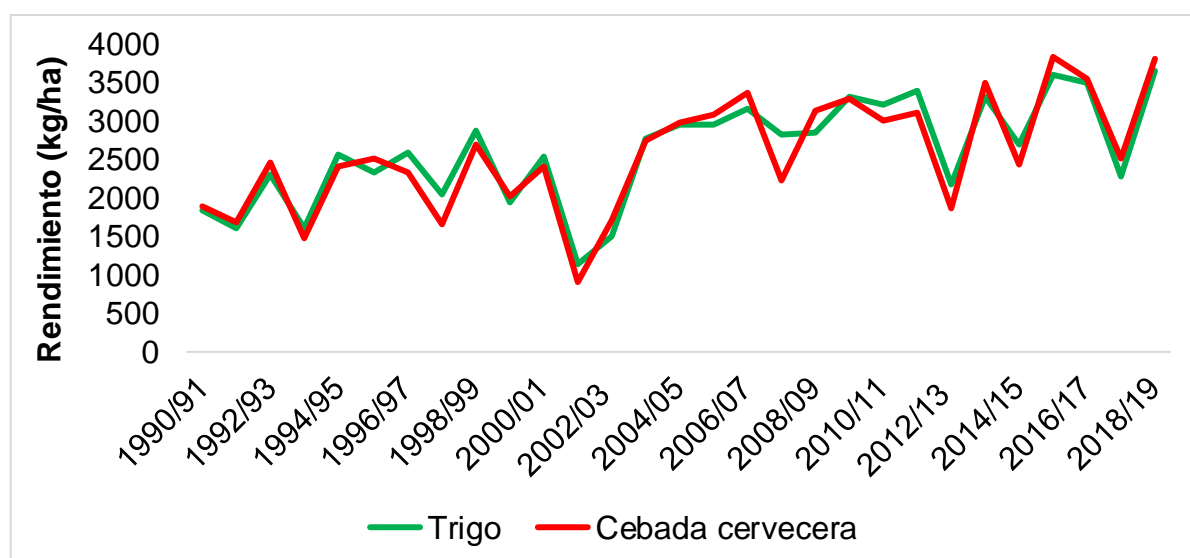


Figura 2. Rendimiento en grano promedio nacional de trigo y cebada en el periodo 1990 al 2019

Fuente: tomado de MGAP. DIEA (2019)

Los rendimientos en grano en ambos cultivos muestran una respuesta incremental a partir del año 2002 y en las últimas zafas (2014/15 hasta 2018/19) los rendimientos de cebada han superado a los de trigo (MGAP. DIEA, 2019). El principal destino de la cebada de Uruguay es la producción de malta para exportación, por su mayor valor agregado en un menor volumen (Castro, 1997).

En cuanto a la exportación significa 7% del mercado mundial de la malta, colocando a Uruguay como el sexto proveedor mundial del producto (LATU, 2013), el principal destino de esta es Brasil exportando el 88 % de su producción (Rava y Souto, 2017). El principal destino del trigo del país es el

¹ Ernst, O. 2013. Com. personal.

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, 2007).

Por su parte, las exportaciones de harina en el 2007 superaron levemente las 17.000 toneladas, con destino casi exclusivamente al Sur de Brasil (IICA 2007, Souto 2007). En trigo hubo un incremento en el periodo 2012 al 2016, aunque inferior al de las exportaciones de cebada (MGAP. DIEA, 2016). Las exportaciones de cebada en grano y en malta aumentaron desde el año 2000 al 2016, pasando de los 48.1 a 233 millones de dólares americanos a comienzos del 2017 (MGAP. DIEA, 2017).

2.2 FUSARIOSIS DE LA ESPIGA

El golpe blanco o Fusariosis de la espiga de trigo (FE) fue descrita por primera vez en Inglaterra en 1884 (Smith, 1884) y en Estados Unidos en 1891 (Arthur, 1891). En Uruguay, el primer registro de infección de la FE en el cultivo de trigo data del año 1928, donde se cita a *Gibberella saubinetti* como agente causal de espigas blancas (Boerger, 1928). Esta patología es causada por distintas especies del género *Fusarium*, siendo el principal agente causal *Fusarium graminearum schwabe* (teleomorfo: *Gibberella zeae* (schwein) patch) (Nicholson et al., 2007).

La mayor parte de las especies del género *Fusarium* son hongos que habitan en el suelo y muchos de ellos pueden crecer como saprofitos tanto en materia orgánica como en plantas vivas (Zillinsky, 1984). La principal especie asociada a FE en trigo y cebada en Uruguay es *F. graminearum* (Boasso 1961, Pereyra y Dill-Macky 2010). Los daños que causa la enfermedad en granos de trigo incluyen la reducción del rendimiento, peso hectolítrico, tenor proteico, poder germinativo y vigor de las semillas (Reis y Carmona, 2002). Durante muchos años fue considerada una enfermedad de importancia menor, aumentado su frecuencia de aparición y severidad a nivel mundial (Díaz de Ackermann y Kohli 1997, Dubin et al. 1997, Gilchrist et al. 1997, Tekauz et al. 2000, Shaner 2003).

Estudios nacionales, han demostrado que entre los años 1915 al 1977, la frecuencia de ocurrencia de FE fue de un año cada 16, en otros estudios indicaron que entre los años 1914–1993 fue de un año cada 11 y para el período 1990-2001, de uno cada 5 años (Díaz et al., 2002). Posterior a la epidemia de los años 2001 y 2002 (Díaz y Pereyra, 2011), en 2009, 2012, 2014

y 2019 se registraron la severidad más alta de FE en trigo (Bogliaccini et al. 2013, Avellaneda et al. 2018).

2.2.1 Agentes causales

El género *Fusarium* fue establecido por Link en 1809 para especies con esporas fusiformes, basándose en *F. roseum*. El género fue validado luego en el código internacional de botánica por Fries en 1821 y más adelante, en 1838 Schwabe describe a *F. graminearum* (Booth, 1971). El género citado pertenece a los Deuteromicetes siendo conocido por *Phylum ascomycota* (Alexopoulos et al., 1996).

La FE puede ser causada por varias especies de hongos pertenecientes básicamente a dos géneros: *Microdochium* y *Fusarium* (Bottalico, 1998). Dentro del género *Microdochium*, sólo *Microdochium nivale*, con dos variedades *M. nivale* var. *nivale* y *M. nivale* var. *majus*, es capaz de causar FE. Varias especies del género *Fusarium* han sido reportadas como las principales causales de FE a nivel mundial.

Dentro del género *Fusarium* las principales especies causando FE a nivel mundial son: *Fusarium graminearum* (Schw.) [estado sexual *Gibberella zeae* (Schwabe) Petch] , *F. culmorum* (W. G. Smith) Sacc., *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. tricinctum* (Corda) Sacc., *F. acuminatum* Ell. & Ev., *F. chlamydosporum* Wollenw. & Reinking, y otras de menor importancia (Wang 1988, Liddell 2003, McMullen et al. 2012, Umpierrez et al. 2013). Los cambios en la estructura de la comunidad de las especies de *Fusarium* están fundamentalmente determinados por parámetros climáticos, particularmente temperatura y humedad (Xu, 2003), y por las variedades de trigo o cebada presentes (Champeil et al., 2004). En general, *F. culmorum*, *F. poae* y *M. nivale* son especies más frecuentes en cultivos de trigo y cebada en regiones más frías (Wollenweber y Reinking, 1935), mientras que *F. graminearum* tiende a predominar en regiones templadas y cálidas (Umpierrez et al., 2013).

Para esta investigación las condiciones el patógeno predominante asociado a la enfermedad es *F. graminearum schwabe* (forma imperfecta de *Gibberella zeae* (Schwabe) Petch (Pritsch 1995, Pereyra 2005, Pereyra et al. 2006, Umpierrez et al. 2013). *Fusarium graminearum* puede producir toxinas como las zearalenona (ZEN) y/o tricótecos como el deoxinivalenol o vomitoxina (DON), nivalenol (NIV) y formas acetiladas de DON (Ac-DON) (Boyacioglu et al., 1992). De acuerdo con Piñeiro (1997) en Uruguay las toxinas predominantes en granos son DON y ZEN.

2.2.2 Importancia económica a nivel mundial

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) ha identificado a la FE como el principal factor limitante de la producción de trigo en muchas regiones del mundo (Bai y Shaner 1994, Xu 2003). A las pérdidas en rendimiento como consecuencia de la reducción del número, tamaño y peso de los granos (Bai et al. 2001, Snijders 2004), se suma la capacidad de este patógeno para producir daños a nivel de calidad de los granos (Sologuk, 2005).

En Europa, la FE fue reportada a comienzos del siglo XX en Alemania por Kirchener, citado por Macinnes y Fogelman (1923), en Rusia y Dinamarca por Rostrup, citado por Macinnes y Fogelman (1923), Siberia por Woronin, citado por Pugh et al. (1933), Sorokin, citado por Joffe (1986).

La FE se encuentra ampliamente distribuida en Europa, registrándose epidemias en Inglaterra en 1982, 1992 y 1993 (Parry et al., 1995), además en Polonia, Holanda, Checoslovaquia, Rusia y Austria (Bottalico y Perrone, 2012). En Holanda durante el periodo de 1979-1985 se registró una prevalencia de la enfermedad de aproximadamente un 66,6% en campos de productores agrícolas, con una severidad del 1,9% de espiguillas infectadas y mermas en el rendimiento de hasta un 50% (Ireta y Gilchrist, 1994). En Irlanda la FE es un problema creciente desde mediados de los años 80 debido a que las condiciones climáticas determinan que el periodo de floración se prolongue, favoreciendo la infección (Dardis et al., 2002).

En China, la FE es uno de los factores más importantes que limitan el rendimiento de grano en trigo. Aproximadamente siete millones de hectáreas del Valle del Yangtze son afectadas anualmente por esta enfermedad desde el año 1997 (Wang et al., 1997). Además del deterioro de la calidad, se estima que la pérdida anual del rendimiento fluctúa entre el 5% y 50%. En uno de cada cinco años la pérdida alcanza el 50% (CIMMYT 1987, Ireta y Gilchrist 1994).

En Japón ocurren pérdidas de rendimiento en cebada del orden del 50% cada 11 años, citado por Steffenson (2003). En Estados Unidos el USDA considera a la FE como la peor enfermedad en cultivos que ha golpeado la nación desde las epidemias de la roya del tallo de la década del 1950. Existen evidencias de grandes pérdidas debido a epidemias ocurridas en los años 1917, 1919 y varias epidemias entre 1928 y 1937 (McMullen et al., 1997).

Las pérdidas en trigo y cebada causadas por las epidemias de golpe blanco en los Estados Unidos durante la década de 1990 se estiman en U\$S 3

mil millones y está documentado como causa de epidemias en 26 estados, registrándose epidemias todos los años entre 1991 y 1996 (Dill-Macky 1997, McMullen et al. 1997).

La FE es común en Minnesota y Dakota del Norte, donde se encontró que se han extendido más al Norte y al Oeste (Tervet, 1944). Entre el año 1998 y 2000 en esa región de los Estados Unidos se registraron pérdidas por 2.7 mil millones de dólares americanos, y correspondió a un 55 % por presencia de DON (Nganje et al., 2002).

Las pérdidas económicas para los productores de trigo en Canadá en la década de 1990 se estiman en U\$S 220 millones en Quebec y Ontario (Comeau, 1999) y entre 1993 a 1998, en U\$S 300 millones en Manitoba (Tekauz, 1996). En Winnipeg, Canadá, *Fusarium graminearum* fue aislado de uno de cada seis espigas de trigo con síntomas de la FE (Gordon et al., 1948).

En Manitoba, Canadá los registros altos de lluvias del año 1993 en praderas se asociaron con niveles sin precedentes de alta de infección de *Fusarium graminearum* en donde anualmente, se registraron pérdidas que alcanzaron las US\$ 50 a 100 millones y además es responsable de la disminución de la superficie cultivada y la pérdida de mercados para el malteado y la cebada forrajera en la región (Tekauz et al. 2000, Broatch 2002).

En Brasil, los primeros registros de FE datan de la década de 1960 en Rio Grande do Sul (RS), FE es más frecuente al Sur de los estados de Paraná, Santa Catalina y Rio Grande del Sur donde ocurren elevadas precipitaciones en el periodo de espigazón (Reis et al., 2002).

Estimaciones realizadas en Brasil durante el período 1984-1987, indicaron que para un rango de espigas afectadas de 2 a 38%, se obtuvieron disminuciones porcentuales del rendimiento del orden de 0.4 al 14% (Reis, 1986). En Brasil, dos factores son determinantes clave de riesgo para FE: intensivos sistemas sin labranza que contribuyen para el mantenimiento de altos niveles de inóculo y un clima subtropical húmedo que por lo general favorece a FE en la mayoría de los años (Del Ponte et al., 2009).

En Argentina, los primeros síntomas de FE comenzaron a observarse a principios de la década del 1930, pero hasta 1945 no fue observada en forma generalizada, siendo en esa época la zona más afectada el Norte de la provincia de Buenos Aires y Sur de Santa Fe (Galich, 1987).

Las epidemias más severas ocurrieron en los años 1945, 1978, 1985, 1993 y 2001, con pérdidas de rendimiento de grano en trigo por encima del 20%

en promedio (Galich, 2004). En el año 2007 la enfermedad revistió importancia en las provincias de Entre Ríos y Santa Fe, aunque los ataques registrados, incluso sobre cultivares que se mostraron susceptibles, no llegaron a provocar las pérdidas en rendimiento de anteriores epifitias (Formento, 2007).

De igual manera en Paraguay en 1972 y 1975 las condiciones climáticas favorecieron la aparición de *Fusariosis* y *Septoriosis*, enfermedades que en su conjunto generaron pérdidas de hasta un 70% en la producción (Ireta y Gilchrist, 1994).

2.2.3 Importancia económica de FE en Uruguay

En Uruguay la primera epidemia severa registrada fue en el año 1977, aunque la enfermedad ya había sido mencionada por el Dr. Alberto Boerger en el año 1928 (Boerger, 1928). Celia Boasso en el año 1961 describió un ataque de golpe blanco de la espiga causado por *Fusarium graminearum* (Boasso, 1961).

En el año 1977 se registraron pérdidas de 50 % en la cosecha nacional asociadas a la enfermedad. Las condiciones climáticas registradas en el mes de octubre de ese año (coincidiendo en esos momentos con la floración), fueron de alta humedad relativa y temperatura alta (Tavella et al., 1979).

Para los años 1990, 1991 y 1993 se estimaron pérdidas de rendimiento en grano utilizando la metodología desarrollada por EMBRAPA-Trigo, en Passo Fundo (Brasil) en parcelas de multiplicación de líneas promisorias del Programa de Mejoramiento de Trigo de INIA en La Estanzuela (Díaz de Ackermann, 1996). Estas oscilaron entre 0.5 y 31%, con espigas afectadas desde 10 a 88% en 1990, entre 0 y 18% con espigas afectadas desde 31 a 80% en 1991, y entre 12 y 25% con espigas afectadas desde 76 a 85% en 1993 (Díaz de Ackermann, 1996).

La actividad de la cadena agroindustrial triguera ha soportado varios años con dificultades como en: 2001, 2002 y 2012, como consecuencia del adverso impacto sobre la producción de trigo de las graves epidemias de FE ocurridas en esas zafas y los productores enfrentaron grandes pérdidas en la cantidad y calidad de su producción, la que además se vio contaminada con DON. Esto se tradujo en una fuerte escasez de materia prima para la industria molinera, que dio lugar a importaciones de trigo que en los últimos años presentaron un aumento significativo debido a la escasez originada por dos años consecutivos con epidemia de FE (MGAP. OPYPA, 2003).

En los años 2007 y 2009, las mermas de rendimiento en ensayos de prueba de fungicidas del testigo sin aplicar con respecto al tratamiento con mayor eficiencia de control de FE fueron de 14 y 25% de severidad total de la parcela medida como el índice de FE, respectivamente.

A pesar de que las mermas de rendimiento no son espectaculares, los hongos causales de la enfermedad producen toxinas, que provocan serios daños a la salud de seres humanos y animales. A nivel nacional el Decreto 533/01 establece que el límite máximo permitido de deoxinivalenol (DON), principal toxina producida por *F. graminearum* en productos y subproductos del trigo para alimentación humana es de 1 ppm. En el caso de grano o subproductos destinados a la alimentación animal, por reglamentación del MGAP, se han establecido límites máximos de DON de 10 ppm para materia prima destinada a raciones y en raciones terminadas 1 ppm para cerdos y equinos, 2 ppm para vacas lecheras, 5 ppm para bovinos de carne, ovinos y aves (Boerger, 2001). Los niveles máximos de contaminación por ZEA se han establecido para el maíz y la cebada a 0.2 ppm, pero no se han regulado para el trigo (MSP, 2017).

La contaminación del grano con DON en las epidemias de 2001 y 2002 fue alta, por lo que fue necesario importar harina para cumplir con la demanda interna. Desde entonces, la cuantificación de los niveles de DON en la harina de trigo y subproductos ha sido obligatoria (MSP, 2001). FE al dañar al grano disminuye su calidad física y, durante la molienda, se dificulta separar el endosperma del resto del grano, por consiguiente, se extrae menos harina y de peor calidad, más oscura y con mayor contenido de cenizas (Díaz de Ackermann et al., 2001).

Las enzimas secretadas por el hongo degradan las paredes celulares y sustancias de reserva (almidón, proteínas, lípidos) del grano, afectando su valor nutricional y digestibilidad. Como resultado de este daño, la materia prima o productos elaborados pueden ser rechazados por los países importadores (Lazzari, 2000).

Además, los hongos del género *Fusarium* producen exoenzimas, fundamentalmente amilasas y proteasas. Ambos tipos de enzimas actúan durante la panificación. Las primeras, contribuyen a una mayor producción de azúcares simples, que causan una serie de problemas, entre los que se destacan que la masa sea más pegajosa y el pan sea más oscuro. Las segundas afectan la red del gluten, debilitándolo, produciendo un pan de menor volumen e incapaz de mantener su forma (Nightingale et al. 1999, Vázquez 2002, Vázquez et al. 2004, Gonnet y Bentancur 2004).

Del mismo modo, en cebada FE es capaz de influenciar cada aspecto de la cadena agroindustrial, desde el rendimiento en grano hasta la calidad del producto final. Las mermas en el rendimiento en grano resultan principalmente de la esterilidad de las espiguillas y/o un menor tamaño del grano (Mathre, 1997). La calidad física del grano es afectada por factores tales como un menor tamaño del grano y una germinación reducida (Mathre, 1997). Por otra parte, la calidad maltera se ve afectada por un mayor extracto de malta y color del mosto, una disminución en la diferencia de extracto fino/extracto grueso, un mayor contenido de nitrógeno en el mosto y menor viscosidad (Gjertsen et al., 1965).

La cerveza elaborada con granos altamente infectados con *F. graminearum* puede presentar características negativas como sabores extraños e inestabilidad de la espuma “efecto gushing” (Haikara 1980, Schwartz et al. 1995). Sin embargo, el aspecto más destacado de la FE es que las distintas toxinas producidas por estables durante el proceso de malteo y llegar hasta la cerveza elaborada (Arias, 1991).

Aun cuando el proceso de remojo puede reducir los niveles de micotoxinas hasta cerca del nivel de detección, el *F. graminearum* puede crecer y producir DON durante la germinación del grano. En Uruguay, Stewart y Piñeiro (1995) determinaron que la toxina DON se mantenía estable durante el proceso de malteo recuperando un 79% de la misma en muestras de malta con 1 ppm de DON y un 68% en muestras de malta con 0.5 ppm de DON.

2.3 EPIDEMIOLOGÍA Y CICLO

2.3.1 Factores que favorecen el desarrollo de la FE

Para que se desarrolle una enfermedad es necesario que interactúen entre sí los siguientes factores: condiciones climáticas favorables para el patógeno, la presencia de inóculo del patógeno y la presencia de un hospedero susceptible a la enfermedad (Steffenson 2003, Agrios 2005).

2.3.1.1 Condiciones climáticas favorables

El periodo más susceptible para la infección es aquel entre la floración en el caso de trigo, y espigazón en el caso de la cebada, hasta el llenado de grano. Durante el mismo se requieren condiciones de alta humedad (90% por periodos de 48 a 72h) y temperaturas entre 10 y 30 °C (Díaz de Ackermann, 1996), siendo la temperatura óptima para la infección de 25°C (Andersen 1948, Sutton

1982, Reis 1988, Mathre 1997, Pereyra 2003).

Las condiciones climáticas anteriormente descritas inciden sobre tres fases de la enfermedad (Pereyra, 2003): en el período prefloración, donde inciden en la producción y maduración de las ascosporas (inoculo primario). En el período floración y primeras etapas de llenado del grano donde inciden en la infección. En el período post-infección, donde las condiciones influyen el desarrollo de la enfermedad.

En un trabajo realizado por Ramírez et al. (2004) trabajando en medios de cultivo, observaron un mayor crecimiento de colonias de *F. graminearum* a temperaturas de 25° C con relación a 15° C y a mayor actividad del agua (aw: actividad acuosa 0.995 vs. 0.97).

Las lluvias (los eventos más que el volumen), son la principal determinante de la ocurrencia y desarrollo de una epifítia de FE (Birzele et al., 2002), ya que en general el inóculo está presente en las chacras.

Uno de los primeros trabajos exhaustivos buscando relacionar tiempo y mojado de espiga con infección de FE fue realizado por Andersen (1948), con el objetivo de dilucidar con mayor detalle las condiciones de desarrollo de la enfermedad (Cuadro 1).

Tal como se aprecia en el cuadro a medida que aumenta la temperatura al igual que lo hace las horas de agua libre en el cultivo aumenta el porcentaje de espiguillas infectadas con FE.

Cuadro 1. Incidencia de FE según distintas combinaciones de temperatura y duración de agua libre en espigas

Temperatura (°C)	Agua libre en espigas (h)	Espigas infectadas (%)
15°C	18	0
	24	0
	36	0
	48	1,6
	60	0
	72	0
20°C	18	1,3
	24	2,9
	36	4,2
	48	5,2
	60	30
	72	80,6
25°C	18	2,4
	24	5,5
	36	18,5
	48	77,1
	60	83
	72	95,6
30°C	18	0
	24	0
	36	2,6
	48	27,1
	60	61,2
	72	86,4

Fuente: tomado de Andersen (1948)

2.3.2 Ciclo biológico

La FE es una enfermedad monocíclica, lo que implica que por cada estación de cultivo ocurre un solo ciclo de la enfermedad en la planta (Sutton, 1982, Figura 3). Sin embargo, es posible que pueda presentar características de enfermedad policíclica, aunque, esto es más raro (Andersen 1948, Markell et al. 2003), debido a infecciones otiginadas por inóculo secundario que puedan ocurrir.

Se pueden observar dos fases de desarrollo de la enfermedad durante el

ciclo de la FE (Reis y Carmona, 2002). En una primera fase parasítica (pocas horas post infección) el patógeno se desarrolla inicialmente como biótrofo donde los tejidos colonizados permanecen funcionales con colonización intercelular (Araus et al. 1993, Bushnell et al. 2003). Posteriormente, se ha observado una fase saprofítica donde el hongo es capaz de atravesar las células del huésped y se desarrolla sobre tejidos muertos (Bushnell et al., 2003).

2.3.3 Infección y desarrollo de la enfermedad

Durante la etapa de siembra- emergencia del cultivo de trigo o cebada las plantas pueden ser afectadas debido a que el hongo es capaz de sobrevivir en forma de clamidosporas o micelio en los restos vegetales. El coleoptile puede ser susceptible al avance de *F. graminearum* al igual que las raíces.

La infección por FE ocurre generalmente durante la antesis (Dill-Macky, 2010). Una vez en la planta, las paredes pegajosas de las ascosporas de *F. graminearum* favorecen su adhesión a la epidermis de los tejidos de las plantas, evitando su desplazamiento (Trail, 2009). Luego de la entrada, las hifas del patógeno crecen subcuticularmente e intracelularmente colonizando rápidamente el tejido. Esto causa alteraciones que llevan a la muerte de las células (Jansen et al., 2005). A medida que *F. graminearum* esporula en las espiguillas infectadas, lo que se ve favorecido por clima cálido y húmedo, produce masas de esporas (macroconidias) de color rosa-anaranjado, cambiando la coloración de las espiguillas.

El lugar donde predominan las infecciones de FE en trigo es en las anteras. Se han encontrado trabajos que demuestran que la eliminación de anteras disminuye la infección (Andersen 1948, Strange y Smith 1971). El crecimiento de *F. graminearum* es estimulado por dos compuestos presentes en alta concentración en las anteras: colina y betaína. Estos compuestos favorecen la extensión hifal, sin afectar la germinación de las esporas (Strange et al., 1974).

A su vez puede ocurrir la infección de la base de la espiga (pedúnculo), lo que puede provocar una decoloración marrón-rojiza y provoca a la esterilidad de la espiga en su totalidad. Las espiguillas infectadas son estériles, y contienen granos color salmón. Sin embargo, los granos visualmente sanos también pueden estar infectados, especialmente si la infección ocurrió en etapas tardías del desarrollo del grano (Wegulo et al., 2013).

Pueden ocurrir infecciones posteriormente a la antesis, hasta el periodo

de llenado de grano (comprendido entre post floración a cosecha), siendo las principales vías de entrada: anteras, estomas en glumas, grietas en lemas y paleas, aberturas temporarias de la florcilla, base de las glumas (trigo, Bushnell et al., 2003). El avance del hongo en la espiga puede ser vía vascular (vía raquis y raquilla) y/o en condiciones de alta humedad relativa por vía externa (Bushnell et al., 2003).

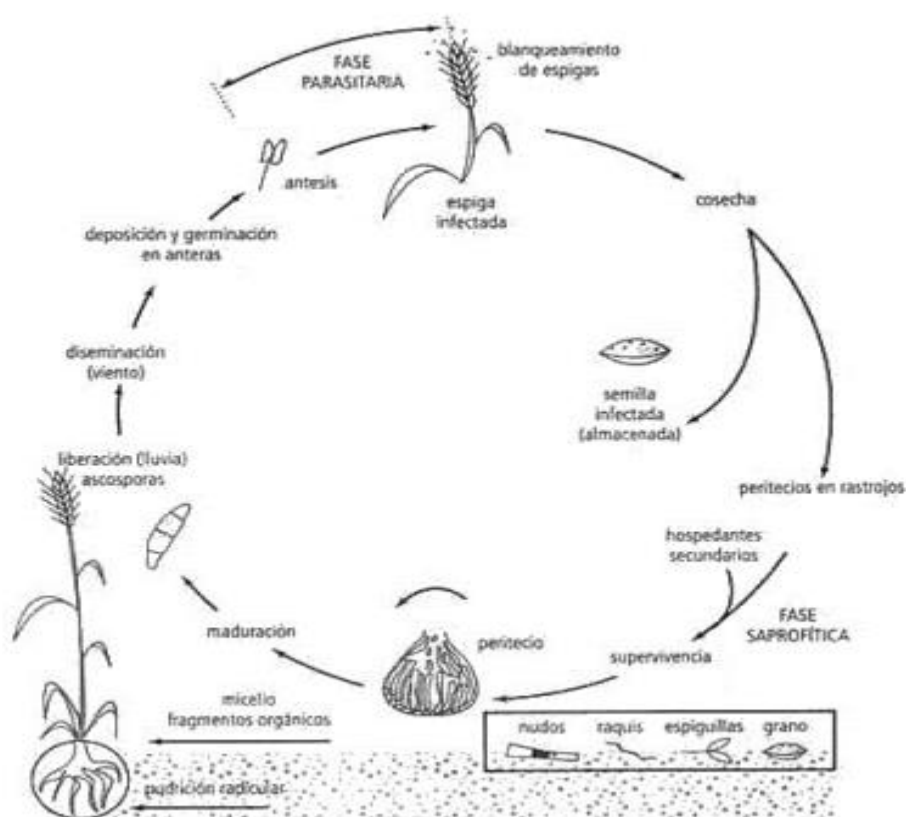


Figura 3. Ciclo biológico de la fusariosis de la espiga de trigo

Fuente: Reis y Carmona (2002).

Como se observa el proceso de infección es similar tanto en variedades resistentes como en susceptibles. Pritsch et al. (2000) realizando estudios microscópicos a nivel de gluma en espigas de trigo, describieron el proceso de infección en dos fases. Durante las primeras 48 horas el hongo penetra por vía estomática o directamente a través del tejido, y desarrolla una fase biotrófica,

asintomática, con desarrollo de hifas superficiales, subcuticulares e intercelulares.

A continuación, se desarrolla una fase necrotrófica con manifestación de clorosis y necrosis, crecimiento intracelular, e inicio de producción de micotoxinas. La fitotoxicidad del DON se asocia a la capacidad de inhibir la síntesis proteica y de desencadenar la muerte celular debido a la pérdida de electrolitos. El momento de la infección determinará la sobrevivencia o no de los granos, ya que cuando la infección se da tempranamente se matan las florcillas, en cambio cuando la infección es más tardía se producen granos de menor tamaño o de un tamaño normal, pero con altos niveles de toxinas (Del Ponte et al., 2007).

2.3.3.1 Tipo de inóculo

El proceso de infección puede iniciarse a través de distintos tipos de inóculo: 1) ascosporas producidas en el interior de los peritecios de *Gibberella zeae*; 2) macroconidios producidos sobre esporodocios o en forma individual, los cuales pueden transformarse en clamidosporas de paredes gruesas cuando son incorporadas al suelo o cuando son inoculados en la espiga; 3) clamidosporas que persisten en el suelo o sobre los rastrojos (inóculo menos frecuente); 4) micelio que sobrevive en los restos de maíz o trigo (Brown et al., 2001).

Markell y Francl (2003) evaluaron la importancia relativa de ascosporas y conidios como inóculo primario, y concluyeron que ambos tipos de inóculo juegan un rol importante. Sin embargo, a nivel mundial se acepta que las ascosporas por abundancia representan el inóculo principal de la enfermedad, pudiéndose diseminar a varios kilómetros por acción del viento. El inóculo proveniente de la chacra (endógeno) es el más importante en causar la epidemia. En las condiciones del Uruguay se pueden producir peritecios y ascosporas sobre rastrojo durante todo el año (Pereyra et al., 2011). Los peritecios pueden visualizarse como protuberancias de coloración negro-violáceas agregadas unas a otras y fuertemente adheridas al sustrato. Con temperaturas y humedad adecuadas y en presencia de luz, los peritecios maduran y liberan las ascosporas formadas en su interior.

2.3.3.2 Fuentes de inóculo y supervivencia

Fusarium graminearum es capaz de sobrevivir como saprófito en los rastrojos de cultivos de maíz, trigo, cebada y sorgo, así como también en otras especies gramíneas constituyentes tanto de pasturas (naturales o cultivadas) como de la población de malezas. En el litoral Oeste de Uruguay se

encontraron peritecios (estructuras reproductivas del hongo, productoras de inóculo primario) en los rastrojos antes mencionados y en rastrojo de moha y restos secos de gramilla (*Cynodon dactylon*) y pasto blanco (*Digitaria sanguinalis*). El suelo y las semillas también son considerados fuentes de inóculo (Sutton, 1982), el principal efecto del hongo en la semilla es servir como vehículo pudiendo ocasionar pudriciones radicales y muerte de plántulas (Matre, 1997), pero las mismas no parecen cumplir un rol importante en la infección de las espigas (Reis et al., 2002).

Luego de la cosecha, *F. graminearum* es capaz de sobrevivir saprofiticamente en los rastrojos de trigo, cebada, maíz, sorgo, y otras especies gramíneas y hasta no gramíneas como girasol y soja (Baird et al. 1997, Pereyra y Dill-Macky 2008). Se ha determinado que los rastrojos que realizan mayor aporte de inóculo primario de *F. graminearum* en los sistemas de producción son trigo y cebada y en segundo lugar maíz.

La colonización del rastrojo por *F. graminearum* decrece con la edad de este. Se ha encontrado rastrojo de maíz sobre la superficie del suelo colonizado por *F. graminearum* (aunque a bajos niveles) hasta tres años luego de la cosecha de este cultivo. A su vez, a mayor edad del rastrojo aumenta la proporción colonizada por otras especies de *Fusarium* como *F. avenaceum*, *F. equiseti*, *F. oxysporum* y *F. solani* que poseen una mayor habilidad competitiva y saprofitica (Pereyra y Dill-Macky, 2008).

Los nudos de los tallos en rastrojo son tejidos de descomposición más lenta y proporcionan un sitio de producción de inóculo durante períodos prolongados (Pereyra y Dill-Macky, 2004). A pesar de la capacidad de sobrevivir saprofiticamente en rastrojos infectados, *F. graminearum* tiene una escasa habilidad de competencia microbiana y de supervivencia libre en el suelo (Garret 1970, Burgess 1981). Con el tiempo, otras especies saprófitas van colonizando el rastrojo desplazándolo (Pereyra et al. 2004, Pérez 2005).

En la etapa de supervivencia del patógeno, juega un rol muy importante el manejo realizado en los cultivos que integran la rotación agrícola y el tipo de rastrojo que dejan los mismos. Es necesario conocer el tiempo de espera para volver a sembrar el mismo cultivo.²

Rastrojos de lenta degradación favorecen la supervivencia de las estructuras fúngicas para el siguiente ciclo; diferenciándose los rastrojos de trigo y cebada (de rápida degradación), con los de maíz y sorgo (de lenta degradación).

² Pérez, C. 2013. Com. personal.

2.3.3.3 Diseminación

Gilbert y Tekauz (2000) estudiaron la dispersión por viento y gotas de lluvia del inóculo de *F. graminearum* y concluyeron que la dispersión de macroconidios se da principalmente por salpicado de gotas de lluvia. En cambio, las ascosporas, al ser livianas y forzosamente descargadas al aire, se diseminan principalmente por el viento (Parry et al. 1995, Xu 2003).

Fernando et al. (1997), demostraron que se requiere alta humedad para la liberación inicial de ascosporas y que este tipo de inóculo usualmente es desplazado por el viento, pero se requieren períodos secos posteriores para la eficaz descarga al aire desde los peritecios (Parry et al., 1995). La alternancia de períodos secos y de lluvias aumenta la liberación de esporas. A su vez, la luz es el factor que más influye, luego de la temperatura y la humedad, pero no en la liberación sino en la maduración de las ascosporas (Trail et al., 1998).

2.3.3.4 Hospederos

Una característica preponderante de *F. graminearum* es su amplio rango de huéspedes, y se ha encontrado sobreviviendo saprofiticamente en numerosas especies gramíneas incluyendo los géneros: avena, bromus, echinocloa, hordeum, lolium, poa, setaria, triticum y zea, y dicotiledóneas incluyendo los géneros: medicago, trifolium, cucumis y glycine (Farr et al. 1989, Fernández y Fernández 1990, Reis 1990, Pioli et al. 2004).

2.3.4 Síntomas

Las espiguillas de trigo afectadas por *Fusarium spp*, pierden clorofila rápidamente y se tornan descoloridas. Posteriormente, en la base y bordes de las glumas, aparece una coloración rojiza a salmón que corresponde a los conidios del hongo. La infección se produce mayormente en aquellas espiguillas que se encuentran en antesis al darse las condiciones para la infección. Si las condiciones son muy favorables la infección avanza hacia las espiguillas adyacentes. El efecto de la enfermedad en el desarrollo del grano depende del momento de infección y puede ser la simple presencia de micelio externo hasta la no formación de grano. Si la infección es moderada los granos son chuzos, de bajo peso y con una coloración rosada a blanquecina. Hacia el final del ciclo del cultivo se pueden observar sobre las espigas masas negras de peritecios (Díaz de Ackerman y Pereyra, 2011).

Los síntomas de la enfermedad en cebada aparecen como granos

discretos decolorados, pardos, pardo-anaranjados, marrones, o chuzos distribuidos en forma discontinua en la espiga. Eventualmente, si las condiciones ambientales son húmedas y cálidas, las espiguillas que han sido infectadas tempranamente desarrollan peritecios al momento de la cosecha (Mathre, 1997). Si la infección llega hasta la base de la espiga, el pedúnculo puede tornarse marrón. En general, los síntomas de FE en cebada son de difícil diagnóstico debido a que decoloraciones similares pueden ser causadas por otros patógenos de semilla como *Drechslera teres* y *Bipolaris sorokiniana* por hongos de campo como *Alternaria spp.*, así como también por factores abióticos (Tekauz et al., 2000).

2.4 MANEJO DE LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA

Ninguna medida de manejo por si sola es capaz de proveer control total de la enfermedad, es por esto que la recomendación de manejo de esta enfermedad ha tomado un enfoque integral, que incluye la selección de los cultivares menos susceptibles, la diversificación de la fecha de floración tendiente a disminuir el riesgo de ocurrencia de epifitias en la totalidad del área, la implementación de secuencias de cultivos que disminuyan la presión de inóculo y la aplicación estratégica de fungicidas (Díaz de Ackermann et al., 2002).

Sin embargo, el amplio rango de hospederos, la gran capacidad de diseminación de este patógeno junto con la falta de cultivares de trigo y cebada con resistencia genética aceptable, hacen que, bajo condiciones climáticas favorables, igualmente ocurran epifitias.

2.4.1 Resistencia genética

El avance genético por resistencia a FE ha sido lento debido a que es una característica de herencia compleja y su expresión es altamente influenciada por el ambiente, por lo tanto, es difícil el desarrollo de cultivares resistentes adaptados a condiciones locales (Buerstmayr et al., 2009). Por otra parte, son pocas las oportunidades para selección en etapas tempranas ya que la enfermedad no se presenta todos los años.

En el ámbito de producción a nivel mundial son pocos los cultivares de trigo y cebada resistentes ya que es difícil combinarla con otras características de adaptación, rendimiento en grano y calidad industrial (Díaz et al., 2002). Pese a lo indicado anteriormente en los últimos años algunos programas de

mejoramiento genético tanto nacionales como regionales han logrado la obtención de líneas con cierto grado de resistencia a FE, con adaptación y alta productividad (Pereyra et al., 2014).

En trigo un variado número de mecanismos de resistencia parece estar operando en el hospedero. Tales mecanismos difieren en su base fisiológica y en el patrón temporal y espacial de acción. Estos mecanismos de resistencia incluyen (Schroeder, 1963):

- 1) Resistencia a la infección inicial.
- 2) Resistencia a la diseminación de síntomas y del patógeno a lo largo de la espiga.
- 3) Limitación en la acumulación de toxinas.
- 4) Insensibilidad a los efectos de la toxina.
- 5) Limitaciones en la infección del cariopse.
- 6) Tolerancia.
- 7) Activación de respuestas de defensa.

En Uruguay, el conocimiento de respuestas fisiológicas es aún muy limitado. Tradicionalmente en trigo se han utilizado como fuentes de resistencia cultivares de origen japonés: nyubay, nobeoka bozu, etc. (Verges, 1983), con problemas de tipo agronómico prácticamente insuperables, baja productividad y alta susceptibilidad a otras enfermedades y algunos de origen brasileño: *Toropí, encruzilhada*, pel 73007 y pel 73081 (Sartori, 1982). Desde 1986 existen materiales de origen chino con buen nivel de resistencia que empezaron a ser probados en Uruguay (Díaz de Ackerman, 2003).

En cebada al igual que en trigo sería deseable seleccionar los cultivares con menor susceptibilidad a FE. En Uruguay, las fuentes de resistencia que se utilizaron en un principio fueron azafrán (shyri/gloria-bar/copal/3/shyri/grit) de ICARDA-CIMMYT, y gobernadora (origen chino). Ambas fueron cruzadas en el programa ICARDA-CIMMYT dando origen a varias líneas doble haploides donde se destacó Gob 45 por su baja incidencia y severidad de FE en evaluaciones realizadas en los años 1997, 1998 y 1999 en INIA La Estanzuela (Pereyra et al., 2014).

Aun cuando en el menú actual de variedades continúan predominando aquellas con susceptibilidad alta a intermedia, en los últimos años algunos programas de mejoramiento genético tanto nacionales como regionales, han logrado la obtención de líneas con cierto grado de resistencia a FE, con adaptación y alta productividad determinando que el área sembrada con cultivares de resistencia intermedia a alta a FE pase de un 10% en el año 2012 a un 20% en el 2015 (Pereyra et al., 2016).

2.4.2 Diversificación de la fecha de floración

Debido a que el periodo de mayor susceptibilidad es en la espigazón/floración (Z51/61 respectivamente). Diversificando las fechas de floración aumentan las chances de escapar a las condiciones climáticas favorables a FE. Esto se logra, sembrando en la misma fecha variedades de ciclos distintos y variedades de ciclo parecidos en fecha de siembra diferentes un adelanto o atraso en la fecha de siembra y selección de cultivares de distinto largo de ciclo implica un cambio de las condiciones ambientales que experimentan las distintas fases fenológicas. La fenología de un cultivo de invierno está determinada por tres mecanismos, todos controlados genéticamente: la respuesta a la vernalización, respuesta al fotoperiodo, y la precocidad per se (Slafer, 2003).

Cuando se define la fecha de siembra de los cultivares de trigo y cebada hay que tener en consideración que la época de siembra de junio y aun en julio tienden a concentrar las espigazones (Z51-59) en momentos de la primavera donde la probabilidad de que se den las condiciones para FE sean altas.

Los cambios en la agricultura nacional y la necesidad de lograr un buen porcentaje de chacras sembradas en fechas se siembras antes del 15 de junio generan una tendencia hacia la explotación de fechas tempranas. Sobre la fecha de anthesis y, en consecuencia, sobre las condiciones de llenado de grano un anticipo de la fecha de siembra puede generar un adelanto marcado. Esto incrementa los riesgos de pérdidas por heladas y bajas temperaturas en floración para aquellos cultivares sin respuesta al fotoperiodo (Hoffman y Castro, 2012).

En cambio, aquellos cultivares que presenten respuesta al fotoperiodo, tienden a concentrar su fecha de floración en un rango menor de días (Castro, 2003). El objetivo de tomar esta medida es de tener una apertura de una o dos semanas para diversificar floración (Reis 1988, Díaz et al. 2002, Hoffman et al. 2003).

2.4.3 Rotación de cultivos

El beneficio potencial de la rotación con cultivos no susceptibles es medianamente eficaz debido al amplio rango de huéspedes de *F. graminearum* (Costa Neto 1976, Reis 1988, Pereyra y Dill-Macky 2008) que aseguran una alta probabilidad de inóculo presente, en especial luego de zafras con epifitias. En años con condiciones favorables generalizadas no hay un efecto marcado del cultivo predecesor, sin embargo, en años normales, los niveles de FE son

significativamente mayores sobre rastrojo de trigo, cebada y maíz respecto a rastrojos no gramíneas (Pereyra y Dill-Macky, 2008) por lo tanto sería adecuada una rotación que incluya cultivos como girasol o soja o eventualmente praderas permanentes (Tavella et al., 1979).

2.4.4 Control químico

El control químico de la FE se investiga en Uruguay desde 1978, haciendo énfasis en un principio en la búsqueda de los productos más eficientes y el mejor momento de aplicación (Díaz de Ackermann, 2002). En trigo los primeros fungicidas recomendados para el control de la FE fueron los benzimidazoles, pero la eficiencia de control que mostraban a nivel de laboratorio o invernáculo no se manifestaba a campo, ya sea por factores como el clima (inadecuado al momento de las aplicaciones), estado fenológico del cultivo (no acorde a la aplicación de un fungicida), o la limitada sistemía de los productos en la espiga. A partir del uso de triazoles se obtuvieron mejores resultados a nivel de campo, el primer triazol que presentó un mejor comportamiento que los benzimidazoles fue el tebuconazol (Silvacur). Hoy en día las mayores eficiencias de control de FE y menor contenido de DON se obtienen con aplicaciones de fungicidas triazoles o mezclas de triazoles [ej. SwingPlus® (metconazol + epoxiconazol), Caramba® (metconazol) y tebuconazol (solo o en combinación con carbendazim)] (Díaz de Ackermann y Pereyra, 2011).

Existe una serie de trabajos que muestran que las dosis menores a las recomendadas de fungicida incrementan la producción de DON (Ramírez et al., 2004). Simpson et al. (2001) aplicaron diferentes fungicidas y evaluaron los cambios en la población de hongos que provocan FE, encontraron que las aplicaciones de azoxistrobina fueron efectivas en el control de *Microdochium*, pero no controlaron satisfactoriamente a *Fusarium*, mientras que tebuconazol mostró un efecto contrario. Esto podría explicar por qué las aplicaciones de azoxistrobina podrían aumentar los niveles de toxinas, ya que pueden eliminar las poblaciones de hongos no toxicogénicos y dar espacio para el desarrollo de los toxicogénicos. Similares resultados fueron observados por Magan et al. (2002).

La aplicación de fungicidas orientada a la protección de las anteras expuestas es una alternativa de alta factibilidad (Reis y Carmona, 2002). La protección química se basa en el uso de fungicidas preventivos, con el objetivo de evitar la infección cuando las esporas del hongo se depositan sobre las anteras expuestas (Moschini et al., 2003). Sin embargo, la desventaja principal de esta medida radica en que la decisión es tomada sin tener conocimiento

sobre la probabilidad de ocurrencia de períodos críticos de infección, lo que aumenta el riesgo de realizar aplicaciones de fungicidas innecesarias.

La efectividad del tratamiento químico no sólo depende del ingrediente activo, sino además del método y momento de aplicación (Parry et al. 1995, Homdork et al. 2000). Ramírez et al. (2004), en estudios realizados en condiciones de laboratorio, determinaron que existe una interacción entre el aislado involucrado, las condiciones ambientales, el fungicida, la dosis, el momento de aplicación y el estado fenológico del cultivo que determina variaciones en los contenidos de DON en el grano (Pérez, 2013).

Las principales limitantes para el control químico de FE se deben principalmente a la morfología de la espiga y la capacidad de los productos de ingresar en la misma o permanecer protegiéndola externamente en condiciones favorables para la enfermedad. Es por esta razón que ha mostrado resultados tan erráticos, con eficiencias de control de 30 a 90% (Díaz et al. 2002, Pereyra y Stewart 2002).

En este escenario, la aplicación de fungicidas ha mostrado ser una herramienta eficiente cuando se realiza en el momento óptimo, cercano al momento de ocurrencia de la infección (Díaz et al., 2002). Sin embargo, esto no siempre es posible ya que las condiciones que favorecen la ocurrencia de la infección son generalmente inadecuadas para la aplicación de fitosanitarios. Este hecho ha determinado que la recomendación sea la de aplicar fungicida a tiempo fijo, más precisamente a inicios de floración y a fin de floración del cultivo de trigo (Díaz et al., 2002) pero en base a pronósticos. En cebada las aplicaciones dobles, en espigazón y luego a fin de espigazón (100% de las espigas fuera de la vaina), han dado las mayores eficiencias de control (Díaz de Ackermann Pereyra, 2011). La aplicación debe ser dirigida a la espiga utilizando aspersores capaces de depositar el fungicida en ambos lados de la espiga (ejemplo, aspersores tipo TwinJet60®).

Un enfoque más reciente ha sido definir el momento de aplicación de fungicidas de acuerdo con modelos de predicción. Desde el año 2004 está disponible a nivel país un modelo de predicción de niveles de deoxinivalenol (DON) en granos de trigo a cosecha operado por INIA (Díaz y Pereyra, 2010). Este modelo (DONcast) ha mostrado un buen ajuste para las condiciones de Uruguay (Schaafsma et al., 2005), sin embargo, hay claras evidencias de que no siempre existe estrecha relación entre los niveles de infección en grano y los niveles de DON en los mismos (Magan et al. 2002, Birzele et al. 2002).

2.4.4.1. Uso de modelos de predicción para la toma de decisión de control químico

La naturaleza esporádica de la FE, su fuerte asociación a los factores climáticos, la relativa estrecha ventana de vulnerabilidad para la infección, dispersión del inóculo e infección hacen posible predecir su riesgo de ocurrencia (De Wolf et al., 2003). La eficiencia de los fungicidas depende en gran medida del tiempo y la calidad de la aplicación. Una gestión de la enfermedad que busque una mayor eficiencia debe considerar el uso de múltiples estrategias (Bai y Shaner 1994, Parry et al. 1995, Luz 2003). Un sistema racional para la predicción de la epidemia FE ha sido pensado por muchos como una herramienta útil para los agricultores y agentes de extensión para apoyar la toma de decisiones en el control de enfermedades con fungicidas o incluso para conocer de antemano sobre la contaminación de lotes con micotoxinas, especialmente DON, en la precosecha (Moschini y Fortugno 1996, Wolf et al. 2000, Vargas et al. 2000, Hooker et al. 2002b).

Krause y Massie (1975) definieron dos enfoques para construir estos pronósticos: a) fundamental y b) empírico. En el enfoque fundamental, mediante cámaras con ambiente controlado, se evalúa el efecto de la temperatura y de la duración de mojado sobre la infección. El enfoque empírico, por su parte, surge del análisis de datos históricos de registros de enfermedad y condiciones ambientales de un sitio dado.

En China, según lo revisado por Lu et al. (2001) fueron documentados 19 modelos de predicción de FE en su mayoría utilizaron como variables la temperatura y niveles de precipitación para la predicción de la enfermedad.

Zhao y Yao (1989) propusieron un modelo de previsión de largo plazo basado en la relación entre la temperatura del agua del océano Pacífico y la severidad de la FE se desarrollaron modelos de predicción de la epidemia acoplado un sistema de apoyo a las decisiones de control químico de FE, llamado FACODEM.

En los Estados Unidos, un grupo de epidemiólogos ha estado reuniendo esfuerzos para el desarrollo y la validación de modelos empíricos para predecir el riesgo de FE (De Wolf et al., 2003). A través del análisis de los datos de ocurrencia de FE en tres importantes áreas productoras de trigo, entre los años 1982-1999, en un total de 50 casos (x años locales).

Se identificaron los períodos de tiempo críticos para el desarrollo de un modelo logístico para la predicción de riesgo (bajo, moderado o alto) y la

aparición de una epidemia (incidencia por encima de 10 %). Se obtuvieron dos modelos:

a) Modelo I, se basa en condiciones climáticas ocurridas siete días antes de la floración. Específicamente, toma en cuenta las horas en que la temperatura se encuentra entre 15 y 30° C, y las horas en que ocurren precipitaciones. Este modelo demostró 76 % de precisión en la clasificación de los casos no epidémicos y precisión del 56% en la clasificación como epidemia.

b) Modelo II, toma en cuenta los mismos parámetros que el modelo anterior, pero le suma las horas en que la temperatura se encuentra entre 15 y 30° C, y la humedad relativa es mayor a 90% durante 10 días desde el comienzo de la floración. Este modelo ha demostrado precisión de 83 % en la clasificación de los casos como epidemia.

Estos modelos pueden llegar a ser muy útiles, pero su aplicación depende de la disponibilidad de pronósticos climáticos durante la antesis, y la precisión está fuertemente comprometida al ajuste que tenga el pronóstico climático (De Wolf et al., 2003).

Desde el año 2004, se está evaluando una nueva generación de modelos obtenidos usando la metodología anterior, para un total de 119 casos epidémicos y no epidémicos de FE observados en parcelas experimentales en siete estados de Estados Unidos. La exactitud de los nuevos modelos, que utilizan variables climáticas correspondientes a períodos anteriores a la floración, paso de 70 % a alrededor de 80 % en la validación, lo que indica su mayor potencial para el uso práctico debido a la previsión anticipada, ya que hay una mayor eficacia de los fungicidas cuando se aplica en el momento de la floración.

– Modelo DONcast

En la Universidad de Guelph en Canadá, fue desarrollado un modelo para estimar los niveles de DON en campos de trigo de la provincia de Ontario (Hooker et al., 2002) Dicho modelo fue generado a partir de una regresión múltiple y fueron usados datos de niveles de DON de chacras que estuvieran como máximo a 30 km de una estación meteorológica.

Se analizaron los años 1996 a 2000 para la concentración micotoxinas. Los autores encontraron que el DON fue influenciado por variables climáticas en tres períodos críticos alrededor de espigazón (50 % de espigas emergidas): 4 a 7 días prefloración, 3 a 6 días post-floración, y 7 a 10 días post-floración solo donde las variables consideradas tienen distinto peso en la determinación del contenido de DON, con esta información general se propusieron 3 ecuaciones que combinan estos parámetros.

Dichas variables incluyen como condición favorable para la producción

de DON al número de días con precipitaciones mayores a 5 mm y a 3 mm y como un efecto negativo los días en los cuales la temperatura máxima diaria supera los 32 °C y la mínima no alcanza a 10 °C (Hooker et al., 2002). Siempre la lluvia fue más importante que la temperatura, ya que explicó entre 67 y 79 % de la variación en los niveles de DON.

El DONcast ha sido evaluado y ajustado en Uruguay por INIA en el marco del proyecto financiado por FAO “Apoyo en la prevención y control de Fusarium y Micotoxinas en granos” (TCP/URU/2801). Al modelo DONcast originalmente utilizado en Canadá se agregaron otras tres variables: humedad relativa a las 11 hs, precipitaciones 20 a 36 días luego de la espigazón, y temperatura máxima 10 a 18 días luego de la espigazón que en Uruguay tuvieron efecto significativo sobre contenido de DON, llegando a un modelo versión 2003 estadísticamente significativo ($p < 0.05$) con $R^2 = 0.76$ (Schaafsma et al., 2006). Para los pronósticos, se utilizan datos provistos por la Dirección Nacional de Meteorología y las estaciones Agroclimáticas de INIA.

– Modelo GIBSIM

El modelo GIBSIM fue desarrollado en Brasil por Embrapa en colaboración con la Universidad Federal de Pelotas y la Universidad de Passo Fundo. El GIBSIM puede ser vinculado a un simulador de crecimiento de trigo –simtrigo (Fernandes y Pavan, 2002) o funcionar de forma independiente a partir de la fecha de inicio de la información de emisión de espigas.

Una primera validación del modelo con datos de 54 casos de epidemias históricas observadas en parcelas experimentales llevadas a cabo en la localidad de Passo Fundo, RS, explicó el 90 % del índice medio de FE (incidencia x severidad) cultivares observados con igual fecha de la floración de un conjunto de datos de cinco años, dos a tres fechas de siembra y diferentes cultivares. El modelo GIBSIM se presenta como una herramienta útil para la gestión racional de la enfermedad. El seguimiento diario del índice acumulado de la infección, antes de la expresión de los síntomas, pueden ayudar a la toma de decisiones de aplicación de fungicidas en función del riesgo de daño económico.

Además, las previsiones climáticas de hasta tres días son más precisas que las de mediano plazo, pueden indicar control antes de un evento de infección, dependiendo de su impacto en el índice acumulado de manera que el fungicida pueda actuar preventivamente. De otra forma, después de eventos de infección, los fungicidas aplicados previos a la emergencia de los síntomas podrían mejorar la eficiencia del control. La otra utilidad del modelo estaría en la elaboración de mapas riesgo regional de FE construido a partir de la interpolación de índices generados por una red de estaciones climáticas, empezando por la fecha de la emisión de estigmas o floración y el seguimiento

de la evolución diaria de las infecciones. Con esto se puede predecir los niveles probables de contaminación de lotes de trigo provenientes de diferentes regiones orientando el destino futuro de los granos contaminados, así como también la necesidad de tratamiento químico de las semillas.

2.5 FENOLOGÍA DE TRIGO Y CEBADA

2.5.1 Definición

La fenología de acuerdo con Lieth (1974) “*es el arte de observar las fases del ciclo de vida o las actividades de plantas y animales*”; según Mirschel et al. (2005) cumple un rol esencial en los cultivos, actuando como una escala biológica de tiempo, donde directa o indirectamente controla procesos relevantes como la senescencia, el llenado de grano y la fotosíntesis.

Es uno de los factores que más influye en el rendimiento potencial y la adaptación a regiones y prácticas de manejo, por posibilitar coincidir las distintas etapas del desarrollo con las variaciones climáticas (Richards, citado por Borràs-Gelonch et al., 2010).

2.5.2 Ciclo del cultivo

El ciclo del cultivo de trigo y cebada puede dividirse en seis etapas de desarrollo (Slafer et al., 2003):

- Establecimiento (ES, entre siembra y emergencia).
- Pre-macollaje (PM, entre emergencia e inicio de macollaje).
- Macollaje (MC, entre inicio de macollaje e inicio de encañazón).
- Encañazón (EN, entre inicio de encañazón e inicio de espigazón).
- Espigazón/antesis (EA, entre inicio de espigazón y fin de antesis).
- Llenado de grano (LLG7, entre fin de antesis y madurez fisiológica).

Finalizado el llenado de grano, continúa una etapa de secado del grano, donde el rendimiento ya fue definido y el grano sólo pierde humedad (Figura 4).

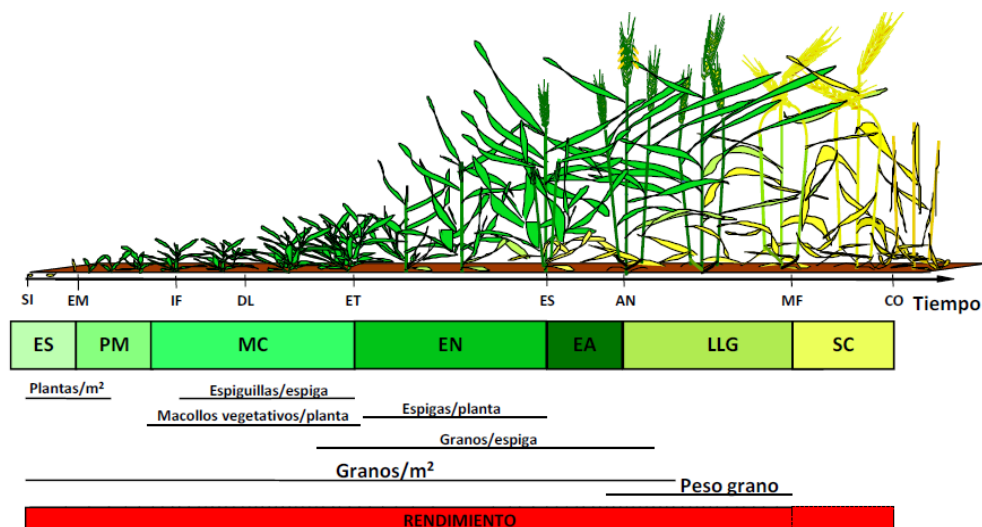


Figura 4. Etapas fenológicas del ciclo de cultivo

Fuente: datos tomados de Slafer y Rawson (1994).

2.5.3 Factores ambientales que inciden en el desarrollo de trigo y cebada

La duración del ciclo y sus etapas está regulada por: a) la temperatura, b) el fotoperíodo y c) la acumulación de horas de frío. La radiación incidente, la disponibilidad hídrica y la nutrición pueden alterar la duración de las etapas, pero en menor magnitud.

a. Temperatura: la influencia de la temperatura en el crecimiento y desarrollo de las plantas es ampliamente reconocida, la temperatura afecta a los procesos de crecimiento como expansión foliar, tasa de asimilación neta, tasa de aparición de hojas y tasa relativa de crecimiento (Milthorpe 1959, Kirby 1995), así como los procesos de desarrollo como iniciación de primordios foliares, iniciación floral, formación de la espiguilla terminal en trigo o máximo número de primordios en cebada, antesis y madurez fisiológica (López-Castañeda y Richards 1994, Kirby 1995).

Por lo tanto, tiene un efecto universal puesto que en todas las etapas del ciclo a medida que la temperatura aumenta por encima de una base (T_b) y hasta una óptima (T_o), además, la tasa de desarrollo se incrementa reduciendo la duración de las etapas, en sentido inverso menores temperaturas (entre la T_b y la T_o) prolongarán la duración de las etapas (Figura 5).

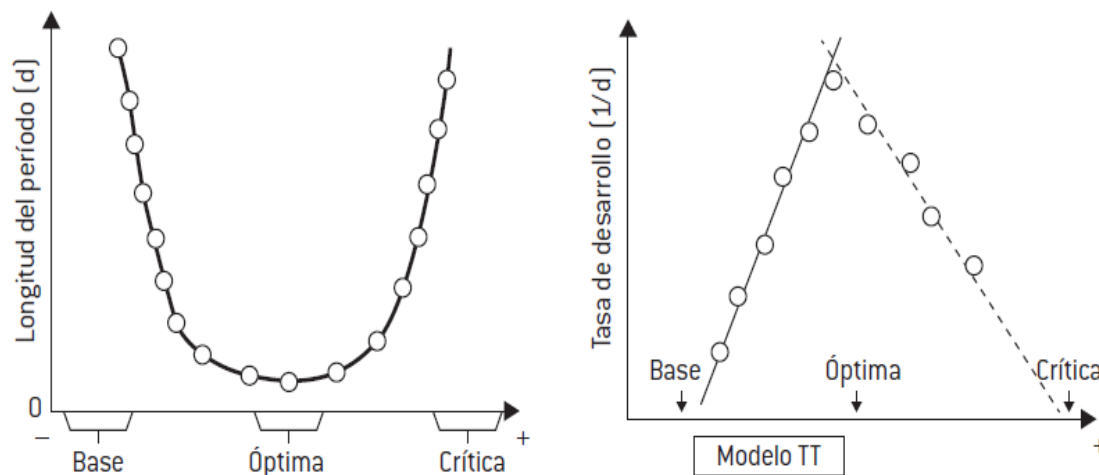


Figura 5. Longitud de una etapa y tasa de desarrollo en función de la temperatura

Fuente: Miralles (2014).

b. Fotoperiodo: tanto trigo como cebada son especies de día largo, es decir que a mayor duración del día la tasa de desarrollo aumenta y la longitud del ciclo a antesis se reduce hasta alcanzar el fotoperiodo umbral (Figura 6).

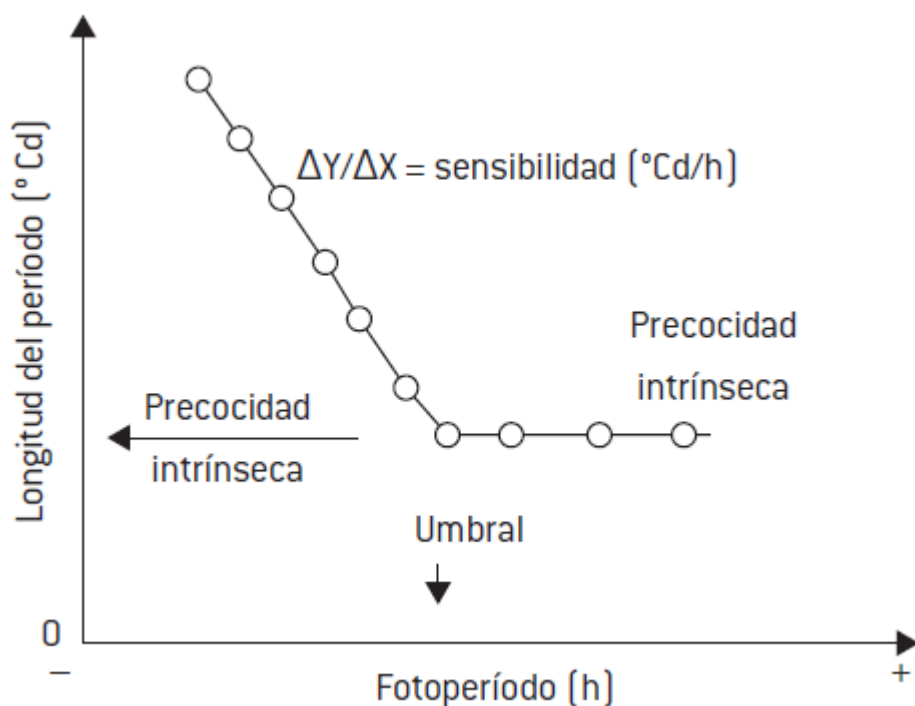


Figura 6. Longitud de una etapa en función de la duración del día (fotoperíodo)

Fuente: Miralles (2014).

A partir de dicho valor la duración del ciclo es mínima (se denomina precocidad intrínseca) y no cambia con el fotoperíodo. Debido a que los órganos que detectan el fotoperíodo son las hojas, el cultivo una vez emergido percibe el estímulo fotoperiódico, el que continuará hasta la antesis. Para conocer la respuesta a fotoperíodo en condiciones de campo, donde la temperatura es variable, la duración de ciclo se expresa en unidades térmicas ($^\circ\text{Cd}$).

La sensibilidad al fotoperíodo (pendiente de la recta en Figura 6), indica cuánto se reduce el ciclo por unidad de incremento en la duración del día ($^\circ\text{Cd/h}$).

c. Vernalización: algunos cultivares requieren la exposición a baja temperatura (“acumulación de horas de frío”), para poder progresar en su desarrollo hacia la antesis. Esta “acumulación de horas de frío” comienza en etapas tempranas del ciclo, desde la imbibición de la semilla y hasta inicio de encañazón. Las

temperaturas con mayor efecto vernalizante en trigo y cebada oscilan entre 2 y 7°C.

d. Agua: la humedad puede afectar el crecimiento y desarrollo de los órganos de la planta en mayor o menor grado durante su ciclo de vida, dependiendo de la etapa fenológica en la que la disponibilidad de agua pueda ser limitante. García del Moral y Ramos (1989) indican que un déficit hídrico durante el periodo vegetativo retrasa el inicio de la floración, si se produce en la diferenciación de la inflorescencia disminuye el número de espiguillas por espiga. Estos autores afirman que durante la etapa reproductiva la formación de granos de polen es sensible a la escasez de agua en el suelo, por lo que deficiencias hídricas severas impiden la formación de polen fértil, conduciendo a la esterilidad masculina en las espiguillas masculinas y de la base de la espiga.

2.6 ETAPAS DE DESARROLLO. PROCESOS FISIOLÓGICOS (COMPARATIVA ENTRE TRIGO Y CEBADA)

El crecimiento del grano es similar en cebada y trigo, aunque estas especies difieren en la duración de las fases de desarrollo, incluyendo la antesis y el periodo de llenado de grano (Lingle y Chevalier, 1985).

López-Castañeda y Richards (1994b) mostraron que la cebada alcanzó la iniciación floral (IF), el máximo número de primordios de espiguillas (MNP), etapa equivalente a la espiguilla terminal (ET del trigo), antesis (A) y madurez fisiológica (MF) en menor tiempo que trigo.

2.6.1 Establecimiento y pre-macollaje

Comienza con la siembra de la semilla en suelo húmedo, se produce la imbibición (hinchamiento de la semilla debido a la entrada de agua) y germinación (aparición de las raíces primarias). La germinación y emergencia dependen de las reservas de azúcares en la semilla, pero una vez que se produce la aparición de la primera hoja verdadera comienza la fotosíntesis y la absorción de nutrientes del suelo.

Asumiendo que la duración entre siembra y emergencia oscila entre 100 a 150 °Cd (con buena disponibilidad hídrica en el suelo), en dicho periodo se inician entre 2 y 3 hojas, a la emergencia el cultivo cuenta entonces con 5-7 hojas iniciadas.

Debido al mayor tamaño de las semillas (o granos) en cebada que, en trigo y, por ende, mayor tamaño del embrión, el vigor inicial de las plántulas de cebada es mayor que las de trigo, siendo más largas y anchas las primeras hojas emergidas. La aparición de las hojas continúa hasta que la última hoja iniciada (hoja bandera) se expanda.

2.6.2 Macollaje

Esta etapa comienza con la aparición de la primera hoja de macollo desde la yema de la hoja más vieja (primera hoja emergida) del vástago principal. Cada hoja del vástago principal y, a su vez cada hoja de macollo tiene la capacidad de generar un nuevo macollo. Los macollos provenientes de yemas de hojas del vástago principal se denominan macollos primarios, mientras que los macollos provenientes de hojas de un macollo primario se conocen como macollos secundarios.

Tanto trigo como cebada poseen una capacidad teórica de generar macollos de forma exponencial. Sin embargo, se alcanza un punto dado a partir del cual la aparición de macollos cesa y luego una proporción variable de los macollos aparecidos mueren (Figura 7). En general, el inicio de crecimiento del tallo (encañazón) desencadena el comienzo de mortandad de macollos que finaliza cuando se alcanza la espigazón.

La mortandad de macollos está asociada a procesos de competencia por fotosasimilados entre y dentro de las plantas, y ocurre aún en condiciones potenciales de crecimiento. El pasaje al estado reproductivo ocurrirá en algún momento, generalmente dentro del período de macollaje, dependiendo de la respuesta del cultivar a los factores ambientales (temperatura, fotoperíodo y vernalización). A partir de este momento comienza la iniciación de espiguillas, que culmina cuando se alcanza el estado de espiguilla terminal en trigo (espiguilla de crecimiento determinado) o el estado de inicio de elongación de aristas en cebada (espigas de crecimiento indeterminado). Por consiguiente, en la etapa de macollaje está teniendo lugar la definición de las espigas potenciales (en la fenología externa del cultivo) y la definición del número de espiguillas por espiga (a nivel apical).

La capacidad de macollaje del cultivo depende de la interacción entre la fecha y densidad de siembra, el genotipo utilizado y la disponibilidad de recursos a lo largo del ciclo del cultivo (fertilización, agua).

2.6.3 Encañazón, espigazón, antesis

La encañazón comienza con la detección del primer nudo en la base de la planta y se caracteriza por la elongación de los entrenudos que dan forma a lo que se conoce como el “tallo verdadero” de la planta (los 4- 5 primeros nudos ubicados en la base de los tallos no se elongan apreciablemente). Poco después de iniciada la elongación del tallo comienza el crecimiento de la espiga, por lo que ambos órganos crecen de forma simultánea compitiendo por asimilados y nutrientes (Figura 7).

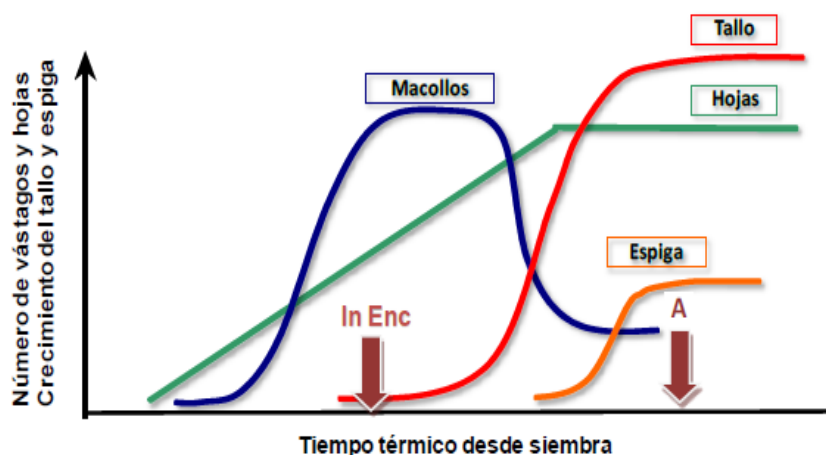


Figura 7. Esquema de la generación de macollos y hojas y crecimiento del tallo y la espiga

Fuente: modificado de Slafer et al. (2003).

La diferenciación de primordios de flores, que comienza antes de finalizar la diferenciación de espiguillas, continúa dentro de las espiguillas alcanzándose el máximo número de primordios florales una vez iniciada la encañazón. Una proporción importante de dichos primordios muere antes de alcanzar el estado flor fértil entre 37 y 40% en cebada (Arisnabarreta y Miralles, 2006), y entre 60 y 85% en trigo (González et al., 2011).

Este periodo de mortandad comienza próximo a la aparición de hoja bandera y prosigue hasta antesis, donde se alcanza el mayor número de flores fértiles/m². El despliegue de la hoja bandera coincide con el estado de vaina engrosada, que en el caso de cebada luego de ocurrido este estado comienza la aparición de aristas por encima de la vaina de la hoja bandera (indicador de

que se ha alcanzado el estado de flor fértil y está ocurriendo la antesis (Slafer et al., 2003).

De esta manera, la fecundación en cebada se produce cuando la espiga se encuentra aún dentro la vaina de la hoja bandera. En trigo, con la elongación del último entrenudo se produce la emergencia de la espiga (espigazón) por sobre la vaina de la hoja bandera, y a los pocos días se produce la autofecundación y luego la aparición de las anteras (Slafer y Rawson, 1994).

En esta etapa es bien marcado el efecto del fotoperiodo ya que fotoperiodos largos aceleran la floración y estimula la velocidad de producción de primordios florales, acortando su duración en el tiempo, pudiendo llegar a reducir el número de granos por espiga y el número de hojas formadas en el tallo (García del Moral y Ramos, 1989).

El inicio de la diferenciación floral se ve acelerado además por la temperatura, pudiendo afectar el número final de flores por inflorescencia, efecto muy negativo en la productividad final de los cultivos por el rápido crecimiento otorgado por la temperatura y por la competencia entre las estructuras florales por los asimilados (García del Moral y Ramos, 1989).

2.6.4 Llenado de granos y madurez fisiológica

Luego de la antesis y fecundación comienza la etapa de llenado de grano donde se termina de definir: (i) cuántas flores fecundadas se establecen como grano a cosecha (etapa de cuaje o fase lag y (ii) el peso de grano logrado (etapa de llenado efectivo). La fase lag comprende los primeros 15-20 días desde la antesis del cultivo y se caracteriza por una activa división celular que define el número de células endospermáticas y por ende el peso potencial del grano. La acumulación de peso seco en el grano es muy pequeña, pero se observa una rápida acumulación de agua en el mismo (Brocklehurst, 1977).

Al finalizar la fase lag o cuajado queda definido el número de granos en el cultivo, componente principal del rendimiento. La fase de llenado efectivo comienza con la finalización de la fase lag y termina en madurez fisiológica (momento en el que se alcanza el máximo peso seco del grano, Sofield et al., 1977). Durante esta etapa el grano acumula la mayor parte de su peso seco Brocklehurst (1977) el cual queda determinado por: (i) la cantidad de materia seca acumulada en el grano por unidad de tiempo (tasa de llenado) y (ii) por la duración de la etapa entre fin de fase lag y madurez fisiológica.

La acumulación de agua en el grano continúa durante esta etapa hasta que el contenido hídrico del grano permanece constante (plateau hídrico), y finaliza al alcanzar la madurez fisiológica. La humedad de los granos al momento de madurez fisiológica oscila entre 36 y 41% (Calderini et al. 2000, Alvarez Prado et al. 2013). En este momento, el rendimiento del cultivo ya está determinado. De aquí a humedad de cosecha (14-16%) el grano sólo pierde humedad.

Las fuentes de asimilados principales que disponen los cultivos de trigo y cebada para el llenado de granos son en orden decreciente de importancia: (i) la fotosíntesis de hojas (ii) la removilización de reservas almacenadas en los tallos y (iii) la fotosíntesis de las espigas (Figura 8). Los cultivos de trigo y cebada son cultivos principalmente limitados por destinos o levemente colimitado por fuente (fotoasimilados) y por destinos (número y peso de granos) durante el llenado de grano (Zilberstein et al. 1985, Gaunt y Wright 1992).

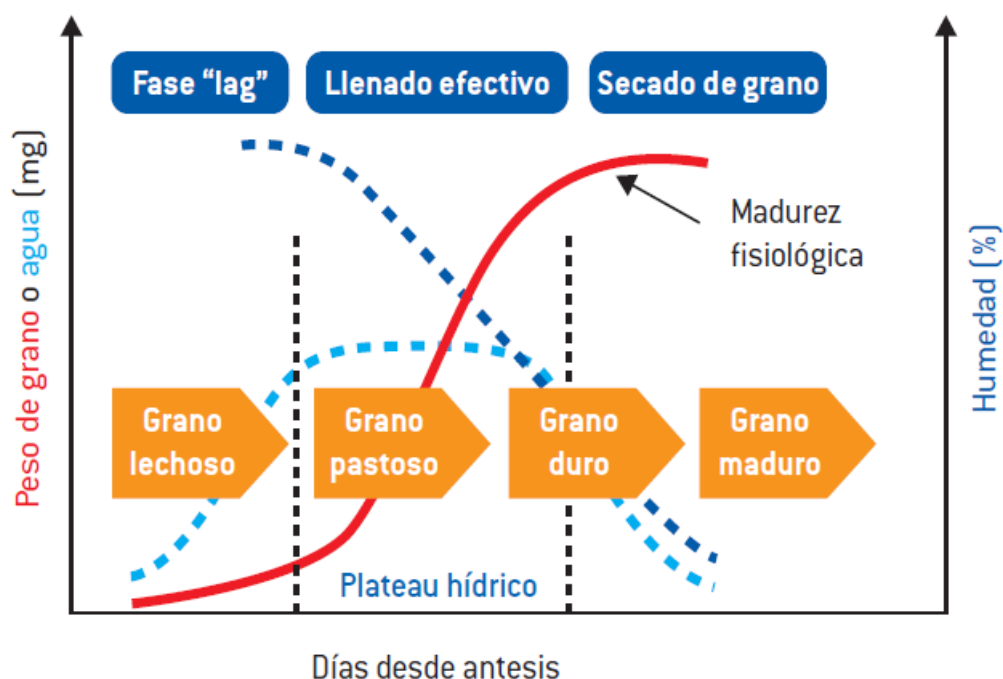


Figura 8. Evolución del peso de grano, agua y el porcentaje de humedad en función del tiempo expresado en días desde la antesis del cultivo
Fuente: Miralles (2014).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se realizó el seguimiento del estado fenológico y del nivel de infección de *Fusariosis* de la espiga (FE) a campo, de dos cultivares de trigo de ciclo largo, cuatro cultivares de trigo de ciclo intermedio y cuatro cultivares de cebada (Cuadro 2). Los distintos cultivares, con comportamiento diferencial frente a FE, se evaluaron desde etapas previas a espigazón (aparición de aristas en cebada Z49) y las etapas de llenado de grano desde que ocurre el comienzo de floración en trigo (Z61) hasta la cosecha (Z92). Luego de la cosecha se determinó el porcentaje de granos con *Fusarium* en el laboratorio.

Para ello se utilizaron experimentos de la evaluación nacional de cultivares INIA-INASE, durante los meses de setiembre a diciembre del 2013, localizados en las áreas del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) Estación Experimental Dr. Alberto Boerger INIA-La Estanzuela, Colonia, 34° 20' 27''S, 57° 43'41'' O, y en la Unidad Experimental de Young Sociedad Rural de Rio Negro, Rio Negro, 32° 41' 15.69'' S, 57° 39' 21.75'' O.

Cuadro 2. Ciclo y comportamiento frente a *Fusariosis* de la espiga (FE) de los distintos cultivares estudiados

Cultivo	Ciclo	Cultivar	Susceptibilidad frente a FE*
Trigo	Largo	Génesis 2346	IA
Trigo	Largo	Génesis 2359	IA-A
Trigo	Intermedio-largo	Baguette 11	I
Trigo	Intermedio-largo	Nogal	A
Trigo	Intermedio	Génesis 2375	BI
Trigo	Intermedio	INIA Don Alberto	A
Cebada	Largo	INIA Ceibo	IA
Cebada	Largo	INIA Arrayan	I
Cebada	Largo-intermedio	Conchita	A
Cebada	Intermedio	Musa 936	IA

*B= susceptibilidad baja; I= susceptibilidad intermedia; A= susceptibilidad alta

Fuente: Castro et al. (2013).

3.1 DATOS CLIMÁTICOS

Durante el desarrollo experimental se registraron las condiciones climáticas en ambas localidades, principalmente las variables asociadas a la fenología de los cultivos. En los ensayos de La Estanzuela se instaló un data logger (modelo Em50 DECAGON Devices Inc., Pullman, WA), el jueves 17 de octubre de 2013 con sensores que registraron; radiación interceptada (PAR) ($\mu\text{mol}/\text{rr}$), lluvia (mm), humedad relativa (HR, %), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y mojado de hoja (h). Hasta la fecha de su instalación (17/10/2013), no se contó con los datos del data logger por lo tanto fueron utilizados los datos de la estación meteorológica de INIA La Estanzuela para recabar los datos climáticos y posteriormente a la cosecha de los cultivares utilizados en el trabajo se descargaron los datos a la computadora. En los ensayos de Young, se registraron temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (HR, %) con data logger HOBO® (U23 Pro V2, Onset Cape Cod, MA) instalado el 20 de setiembre de 2013, los datos de lluvia (mm) fueron recabados de la estación meteorológica en Young del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET).

3.2 FENOLOGÍA Y FUSARIOSIS DE LA ESPIGA

3.2.1 Trigo ciclo largo

La caracterización de cultivares de trigo de ciclo largo comprendió dos ensayos en La Estanzuela sembrados el 18/05/2013 y 18/06/2013 y un ensayo en la localidad de Young sembrado el día 10/05/2013. La emergencia se registró el 26/05/2013, 29/06/2013 para la primera y segunda fecha de siembra, respectivamente en La Estanzuela y el día 17/05/2013 en Young. Todos los ensayos se llevaron a cabo en siembra convencional con sembradora a chorrillo, a una densidad de 250 semillas viables/m², en parcelas de 6 surcos de 5.5 m de largo espaciados a 0.16 m.

La fertilización se realizó de acuerdo con el análisis de suelo de fósforo (P) y nitrógeno (N) previo a la siembra. En los ensayos de La Estanzuela se fertilizó a la siembra con 50 kg/ha de 18-46/46-0 y en Young con 150 kg/ha de 18-46/46-0 y 59 kg/ha de 46-0/0-0.

Se refertilizó en base a análisis de nitratos (NO_3) en los estados de dos macollos (Z22) y fin de macollaje (Z30) (Zadocks et al., 1974), utilizándose 110 kg/ha de urea en Z22 y Z30 en La Estanzuela y 119 kg/ha de urea en Z22 y 50 kg/ha de urea en Z30 en Young.

En la Estanzuela se realizaron controles de malezas el día 08/07/2013

con 20 g de clorsulfurón 75 % + 600 cc de pinoxaden + cloquintocet-mexyl + 150 cc de coadyuvante y el día 20/07/2013 con 20 g de clorsulfurón 75 % + 600 cc de pinoxaden + cloquintocet-mexyl + 150 cc de coadyuvante en Young se aplicó clorsulfuron + piroxaden + cloquintocet-mexyl.

Para el control de insectos se aplicaron los días 30/09/2013 y 18/10/2013 primicarb + triflumuron, en La Estanzuela y Young, respectivamente.

Las variedades de trigo de ciclo largo se cosecharon en La Estanzuela para la primera fecha de siembra entre el 22-25/11/2013 y para la segunda fecha de siembra fue desde el 28/11/2013 al 02/12/2013, y en el caso de Young fue del 11/11/2013 al 15/11/2013.

3.2.2 Trigo ciclo intermedio

La caracterización de trigo comprendió dos ensayos de ciclos intermedios, sembrados el 06/06/2013 y el 27/06/2013 en La Estanzuela y un ensayo sembrado el día 05/06/2013 en la localidad de Young. En La Estanzuela la emergencia de la primera fecha se registró el día 16/06/2013, para los de segunda fecha ocurrió el 10/07/2013 y el 15/06/2013 en la localidad de Young. Todos los ensayos se llevaron a cabo en siembra convencional con sembradora a chorrillo, a una densidad de 250 semillas viables/m², en parcelas de 6 surcos de 5.5 m de largo espaciados a 0.16 m. En Young se sembró en siembra directa con sembradora experimental adaptada para tal fin, con 250 semillas viables/ m² y parcelas de 6 surcos de 5.5 m de largo espaciados a 0.19 m.

La fertilización se realizó de acuerdo con el análisis de suelo de fósforo (P) y nitrógeno (N) previo a la siembra. La refertilización se realizó de acuerdo con el análisis de nitratos (NO₃) a mitad de macollaje y N en planta a fin de macollaje. Se fertilizó con 50 kg de 18-46/46-0 en ambos ensayos a la siembra y en Z30 se aplicaron 50 kg/ha de 18-46/46-0.

Se realizó control de malezas el día 15/07/2013 para el ensayo sembrado temprano y el día 10/08/2013 para la segunda fecha de siembra en La Estanzuela con 20 g de clorsulfurón 75 % + 600 cc de pinoxaden + cloquintocet-mexyl + 150 cc de coadyuvante y con clorsulfuron + pinoxaden + cloquintocet-mexyl en Young.

Se aplicaron insecticidas los días 30/09/2013 y 18/10/2013 primicarb + triflumuron para los cultivos sembrados en la primera y segunda fecha en La

Estanzuela y Young. Se cosecharon los ensayos de trigo ciclo intermedio en las siguientes fechas: para La Estanzuela (fecha 1), fue desde el día 15/11 al 23/11/2013 y para la segunda fecha fue del 20/11 al 29/11/2013 y en el caso de Young fue del 05/11 al 13/11/2013.

3.2.3 Cebada

La caracterización comprendió dos ensayos de cebada, sembrados el día 06/06/2013 en La Estanzuela y el día 05/06/2013 en Young. Las plántulas en La Estanzuela emergieron el 15/06/2013, mientras que en Young emergieron el 14/06/2013.

Todos los ensayos que se llevaron a cabo en La Estanzuela fueron realizados en siembra convencional con sembradora a chorrillo, a una densidad de 250 semillas viables/m², en parcelas de 6 surcos de 5.5 m de largo espaciados a 0.16 m. En Young se realizó en siembra directa con sembradora experimental adaptada para tal fin, con igual densidad y parcelas de 6 surcos de 5.5 m de largo espaciados a 0.19 m.

La fertilización se realizó de acuerdo a análisis de suelo de fósforo (P) y nitrógeno (N) previo a la siembra. La refertilización se realizó de acuerdo a análisis de nitrato (NO₃) a mitad de macollaje y N en planta a fin de macollaje. Se fertilizó con 59 kg/ha de 46-0/0-0 a la siembra y 150 kg/ha de 18-46/46-0 en Young. En Z22 se aplicaron 76 kg/ha de 46-0/0-0, en La Estanzuela se aplicaron 50 kg/ha de 18-46/46-0 a la siembra y no se fertilizó en Z22.

Se realizó control de malezas al principio de macollaje en ambas localidades, en La Estanzuela el día 20/07/2013 se aplicaron 20 g de clorsulfurón 75 % + 600 cc de pinoxaden + cloquintocet-mexyl + 150 cc de coadyuvante, en Young se aplicaron clorsulfuron 75% + pinoxaden + cloquintocet-mexyl.

El control de insectos se llevó a cabo los días 30/09/2013 y 18/10/2013 con pirimicarb + triflumuron y una tercera aplicación el día 11/11/2013 con clorpirifos + triflumuron.

3.3 DETERMINACIONES

Cada ensayo constó de dos bloques, y en cada uno se seleccionaron al azar 30 tallos principales y de surcos centrales de la parcela para cada cultivar. En estos 60 tallos se realizó el seguimiento fenológico, la infección de FE y presencia y estado de anteras.

El seguimiento fenológico se llevó a cabo registrando las fechas de ocurrencia de diversos estados desde el 50% de la espiga visible (Z55) (se midió en el momento en que la mitad de la espiga superaba en altura a la hoja bandera), hasta madurez fisiológica y cosecha del grano (Z99) según el esquema que se detalla (Figura 9). Al momento del encintado se anotó la fecha en la que cada una de las espigas alcanzó los estados en estudio colocándose una cinta de color única a cada estado.

Amarillo	• 50% de la espiga emergida (Z55)
Blanco	• 100% de la espiga emergida (Z60)
Rojo	• Principio de floración (Z61)
Celeste	• Fin de floración (se registra retención de anteras) (Z69)
Negro	• 1/4 de grano (Z72)
Verde	• Madurez fisiológica (Z90-99)

Figura 9. Esquema de encintado de espigas según los distintos estados fenológicos estudiados en cultivares de trigo

En el estado de grano lechoso-pastoso (Z73-80) se evaluó la infección de FE como número de espiguillas enfermas en el total de espiguillas de cada espiga. Luego de la cosecha (en la etapa de laboratorio) se determinó el porcentaje de granos con *Fusarium* calculado como peso de granos enfermos en relación con los granos totales *100.

A fin de floración (Z69) se determinó la retención o no de anteras. Para evaluar la retención de anteras de cada uno de los cultivares se utilizó una escala de 0-3 definida por una regla sencilla que consistió en medir el periodo de tiempo durante el cual permanecían las anteras sobre las espigas antes de caer al suelo, realizando una primera medición y regresando a constatar la cantidad de anteras dos días después (este periodo de dos días fue definido previamente junto a la tutora). En aquellas espigas que retenían anteras durante un periodo de más de dos días se le asignó un "SI" seguido de un

número 1, 2 ó 3 que significa que retienen anteras en baja (0-33%), media (33-66%) y alta (>66%) proporción, donde 0 es la no retención de anteras.

Esta evaluación tuvo lugar únicamente en el ensayo de La Estanzuela, debido a la necesidad de realizar mediciones diarias para determinar duración de las anteras antes de caer al suelo.

Luego de cosecha se determinó el porcentaje de granos con *Fusarium* de las espigas marcadas de cada uno de los bloques, el procedimiento consistió en desgranar cada espiga y realizar el conteo del total de granos cosechados, y luego separar aquellos granos infectados para determinar el porcentaje de severidad. En el caso de trigo se realizó para 30 espigas por bloque y en cebada fue 20 espigas por bloque.

El seguimiento fenológico de las variedades de cebada se realizó a partir de la aparición de las primeras aristas (Z49) hasta alcanzada la madurez fisiológica (Z90). Se seleccionaron 20 tallos principales de surcos centrales de la parcela para cada cultivar en cada uno de los tratamientos dispuestos sobre tres bloques ubicados en diferentes zonas del campo experimental. Sobre estos 60 tallos se evaluó además infección de FE y presencia y estado de anteras.

El proceso de encintado que permitió realizar el seguimiento fenológico de los cultivares en estudio fue muy similar al que se realizó en trigo difiriendo únicamente en algunos de los estados fenológicos (Figura 10).

Amarillo	• Aparición de primeras aristas Z49
Blanco	• 50% de la espiga emergida Z55
Rojo	• 100% de la espiga emergida Z60
Celeste	• 1/4 de grano Z72
Negro	• Madurez fisiológica Z90-99

Figura 10. Esquema de encintado de espigas según los distintos estados fenológicos estudiados en cultivares de cebada

En el estado de grano lechoso-pastoso se realizó una lectura de FE como número de espiguillas enfermas en el total de las espigas, y luego de la cosecha se determinó el porcentaje de severidad o granos con *Fusarium* como granos enfermos con relación al total de granos *100. En cebada no se determinó retención de anteras.

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) para asignar las unidades experimentales a los tratamientos y minimizar el efecto de la variabilidad cuando está asociada a unidades discretas.

Las variables independientes analizadas con el fin de determinar su efecto en la variable de respuesta o dependiente fueron: bloques, localidad o ambiente y los cultivares utilizados para los experimentos, estos factores o variables se encuentran anidados cuando se estudiaron como los niveles de los bloques que son similares en una localidad pero no idénticos ya que son parcelas distribuidas en distintas partes del campo lo que puede generar variabilidad entre bloques y se combinan con los diferentes niveles de cada una de las localidades, por otro lado también se puede decir que los factores se encuentran cruzados cuando la respuesta del cultivar ocurre en combinación con los niveles del ambiente ya que los mismos cultivares fueron probados en ambas localidades.

Por lo que fueron desarrollados distintos modelos dependiendo de las variables que se analizaron en cada caso, esto debido principalmente a que el experimento se llevó a cabo en dos localidades distintas con dos cultivos distintos y diferentes cultivares de cada uno de ellos.

El modelo estadístico para evaluar el porcentaje de espiguillas afectadas por FE a campo para el cultivo de trigo y cebada fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + \beta_{k(i)} + V_j + (LV)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde,

Y_{ijk} : porcentaje de espiguillas afectadas a campo

μ : media poblacional de la infección de FE, medida como porcentaje de espiguillas afectadas

L_i : efecto de la i ésima localidad

V_j : efecto de la j ésima variedad

β_k : efecto del k ésimo bloque dentro de i ésima localidad
 LV: efecto de la interacción localidad x variedad
 ϵ_{ijk} : efecto del error experimental

Para el caso de laboratorio se utilizó el siguiente modelo;

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + \beta_k(i) + V_j + (LV)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde,

Y_{ijk} : severidad de espiguillas afectadas a laboratorio

μ : media poblacional de la infección de FE, medida como severidad de espiguillas

L_i : efecto de la i ésima localidad

V_j : efecto de la j ésima variedad

β_k : efecto del k ésimo bloque dentro de i ésima localidad

LV: efecto de la interacción localidad x variedad

ϵ_{ijk} : efecto del error experimental

Supuestos fundamentales:

1. Las medias poblacionales dependen de un número de factores conocidos o al menos hipotetizados.
2. El grado de generalidad de las poblaciones (generalmente conceptuales) es similar, lo cual "permite" la suposición de homogeneidad de varianzas.
3. La parte no explicada por los factores es la causa de lo aleatorio del modelo y se supone con alguna distribución probabilística (generalmente "normal").

Supuestos al modelo:

correcto aditivo y considera que no existe relación bloque por tratamiento

Supuestos sobre los errores:

- ϵ_{ijk} Son variables aleatorias independientes todas con idéntica distribución, la cual es normal con media 0 y varianza σ^2 .
- ϵ_{ijk} VA iid (independientes con idéntica distribución) $N(0, \sigma^2)$

Hipótesis

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

H_a : existe al menos una diferencia entre la media de los tratamientos

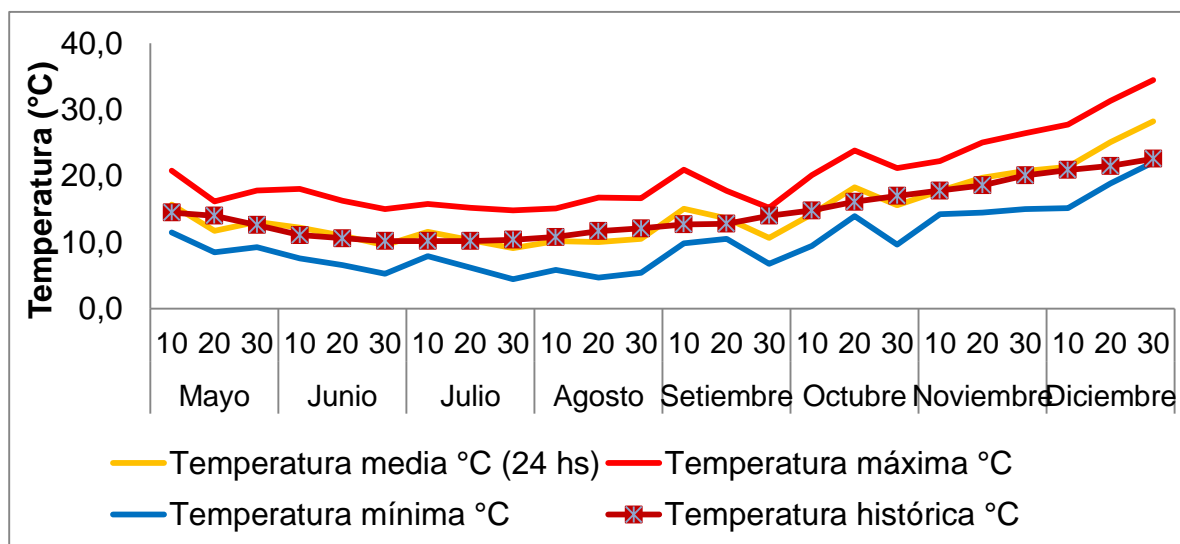
Los datos obtenidos fueron analizados a través de modelos lineales generalizados, utilizando el software R versión 3.0.0 (R Development Core Team, 2010).

4. RESULTADOS

4.1 DATOS CLIMÁTICOS GENERALES PARA EL PERIODO DE ESTUDIO

Se registraron diferencias entre las temperaturas máximas, medias y mínimas, lluvias y humedad relativa registradas en La Estanzuela y Young.

En La Estanzuela, las temperaturas medias fueron similares a las que ocurren históricamente en esta localidad encontrándose leves diferencias en algunos periodos, como durante la segunda década de octubre y en diciembre donde los niveles que se registraron superaron a los niveles históricos.

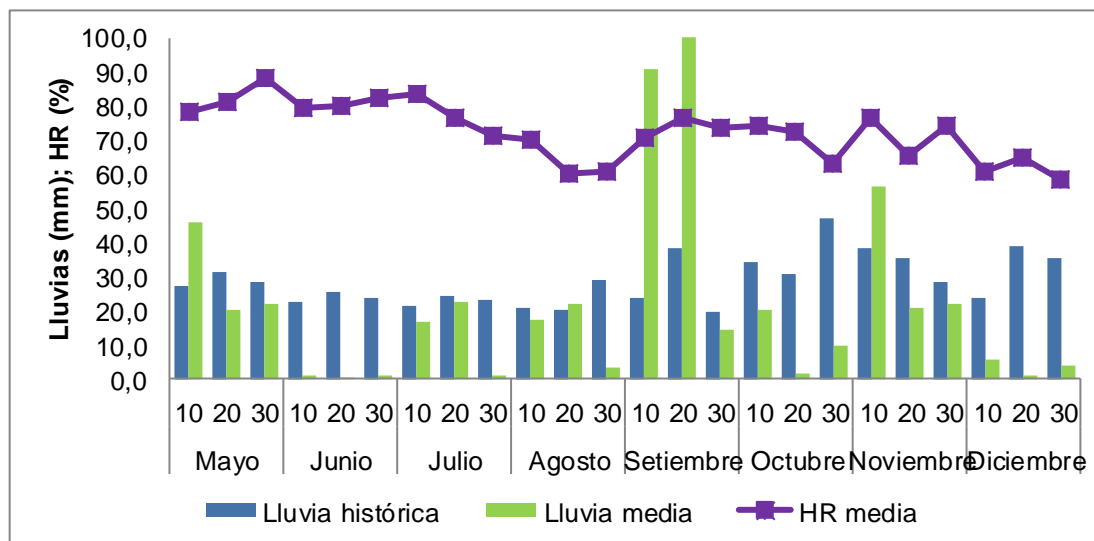


Datos obtenidos de INIA. GRAS (2013).

Figura 11. Temperatura (media, máxima y mínima), décadas y promedio histórico de temperaturas medias (temperatura histórica °C) para La Estanzuela

Las lluvias en esta localidad superaron los registros históricos solamente en las dos primeras décadas de setiembre y la primera década de noviembre. En las dos primeras décadas de setiembre, los cultivos se encontraban en etapas previas a espigazón en trigo y aristas visibles en cebada y durante la primera década de noviembre la mayoría de los cultivos se encontraba atravesando el periodo de llenado de grano.

Los picos de humedad relativa (valores máximos) en la segunda década de setiembre y en la primer y tercer década de noviembre ocurrieron luego de algún evento de lluvias, este año en particular las lluvias salvo las mencionadas para los meses de setiembre y noviembre se encontraron en general por debajo del promedio histórico.



Datos obtenidos de INIA. GRAS (2013)

Figura 12. Lluvia media y humedad relativa media (HR %) decádicas y promedio histórico de lluvias (lluvias históricas) para La Estanzuela

En Young la temperatura media fue superior a la registrada en La Estanzuela para el periodo en estudio (Figura 14). Según los registros históricos, la temperatura media en Young es entre 2 y 4°C superior en primavera en relación con La Estanzuela. En la primer y segunda década de setiembre y en la segunda década de octubre los registros de temperatura media fueron superiores al histórico para Young. En setiembre coincide con el momento en que los cultivos de cebada se encontraban en el estado de aristas visibles y en 50% de espigas emergidas en el caso de trigo.

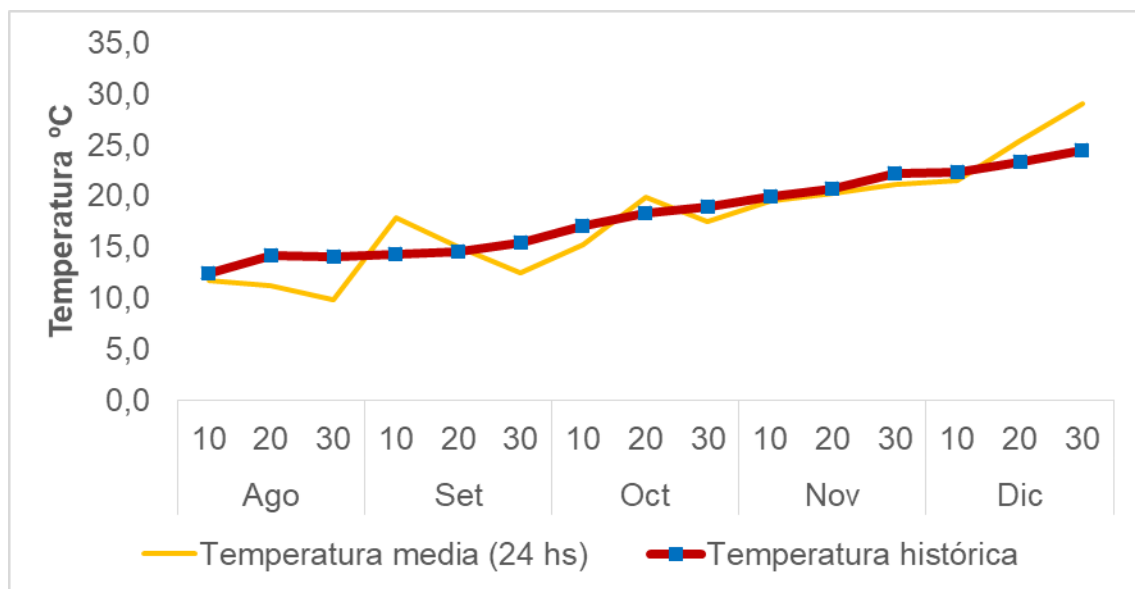


Figura 13. Temperatura media decádicas registrada por la estación climática de Inumet y HOBO[®] en 2013 y promedio histórico de temperatura en la localidad de Young

Las lluvias fueron inferiores al promedio histórico excepto en la segunda década de setiembre, la primer y tercera década de noviembre y la última década de diciembre.

La humedad relativa fue superior en las primeras mediciones a campo que se realizaron en el mes de setiembre y luego desciende hacia el mes de diciembre, a medida que aumenta la temperatura, al igual que en La Estanzuela.

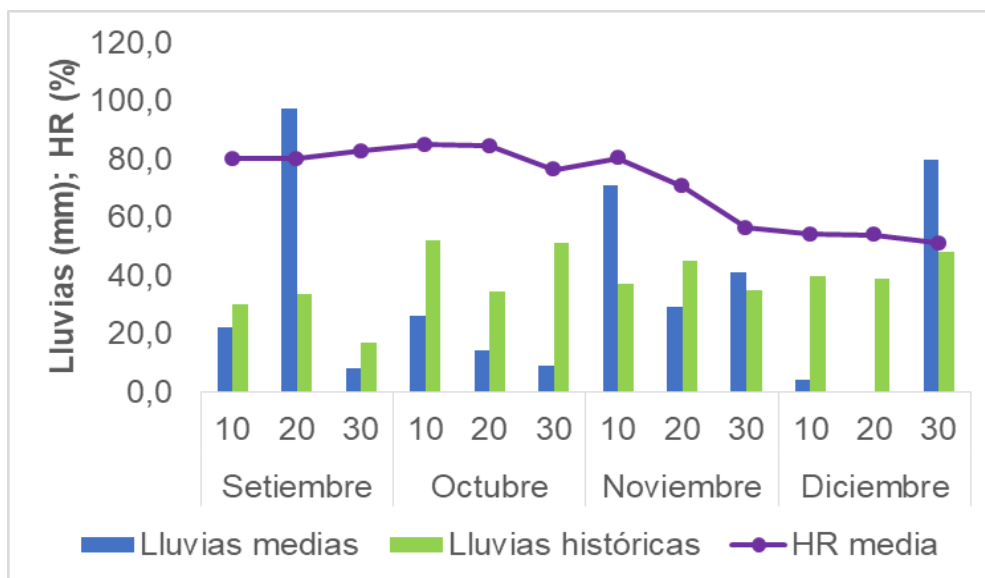


Figura 14. Lluvias y humedad relativa (HR %) decádicas registradas por la estación climática de Inumet y HOB0® en 2013 y promedio histórico de lluvias en la localidad de Young

4.2 FENOLOGÍA

4.2.1 Trigo - ciclo Largo

Una vez realizada la medición a campo se determinó que la duración del ciclo de Génesis 2346 y Génesis 2359 desde el 50% de la espiga emergida (Z55) hasta madurez fisiológica (Z90-99) fue similar. Como resultado de la evaluación sobre los tres ambientes a los que fueron expuestos estos cultivares, se observó que los eventos fenológicos no presentaron grandes diferencias entre ellos.

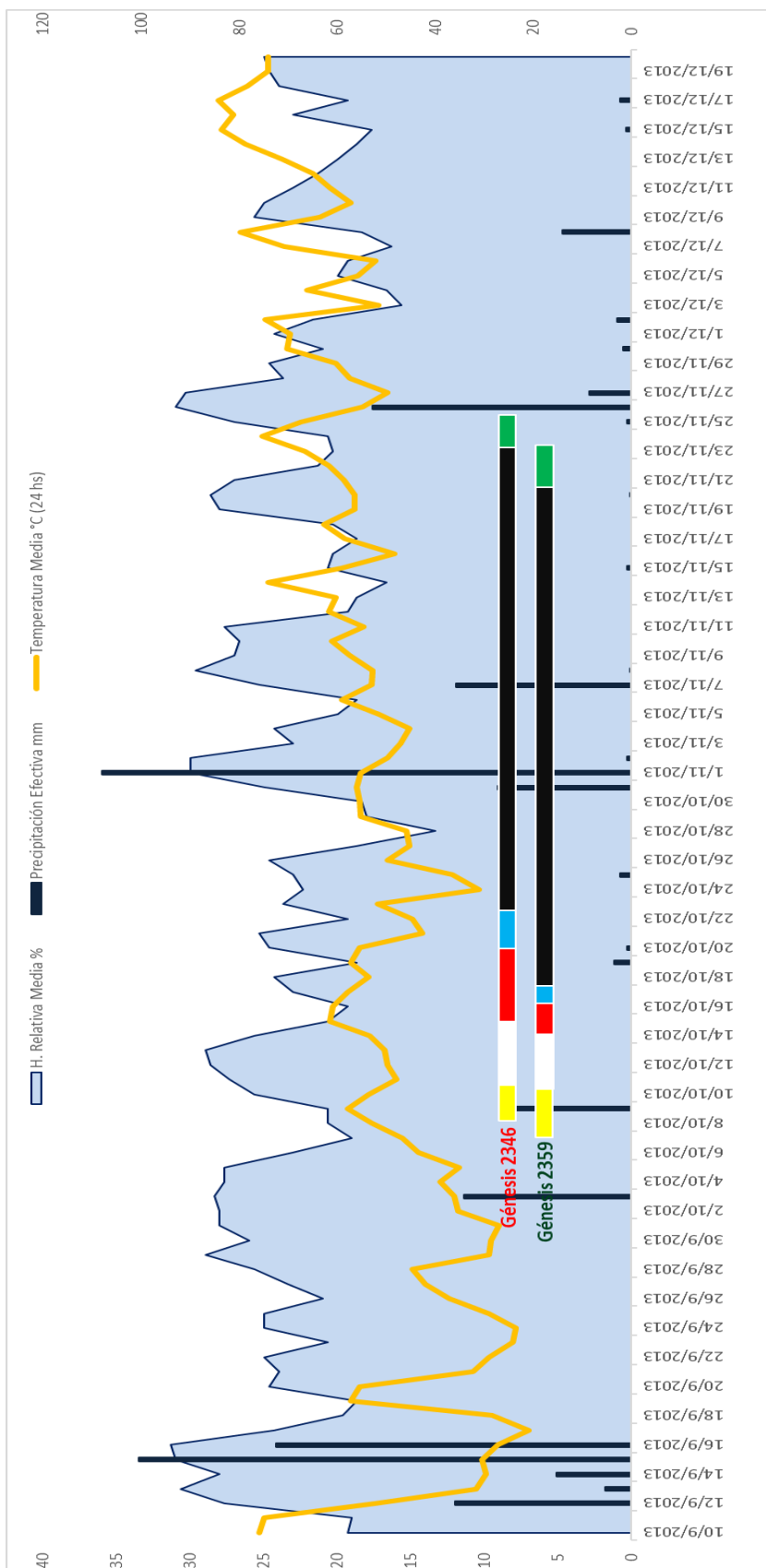
4.2.1.1 La Estanzuela I

Espigazón-antesis

El periodo entre inicio de espigazón (Z51) y fin de antesis (Z69) fue más prolongado en Génesis 2346 que Génesis 2359. Ocurrieron dos eventos de lluvia más en este período para Génesis 2346 con respecto de Génesis 2359, no significativos ya que fueron inferiores a 5 mm (Figura 16).

El evento más importante de lluvias (8,9 mm) ocurrió cuando el 50% de espigas estaban emergidas en ambos cultivares. La temperatura más alta

durante esa fase fue de 20,5 °C y los registros de HR% más altos de 93% ocurrieron cuando los cultivares ya tenían el 100% de las espigas emergidas (Z60 Figura 15).



Amarillo, 50% de espigas emergidas (Z55); blanco, 100% de espigas emergidas (Z60); rojo, principio de floración (Z65); celeste, fin de floración (Z69); negro, inicio 1/4 grano desarrollado (Z72); verde, madurez fisiológica (Z90-99).

Figura 15. Estados fenológicos asociados a condiciones climáticas en trigo de ciclo largo, LE I

Antesis - madurez fisiológica

La floración (Z60-69) culminó entre el 16 y el 18 de octubre en Génesis 2359, y entre el 20 y el 23 de octubre en Génesis 2346. La duración del llenado de grano (Z73-99) fue similar en ambos cultivares difiriendo aproximadamente cuatro días en el promedio de las espigas evaluadas. En el caso de Génesis 2359 se alcanzó madurez fisiológica (Z90-99) el 21 de noviembre y en Génesis 2346 el 23 de noviembre. Ambas variedades fueron cosechadas dos días después de haber alcanzado madurez fisiológica.

Para los dos cultivares, por un periodo de aproximadamente 14 días (comprendido entre el 1 de noviembre al 14 de noviembre) durante el llenado de grano (Z73-99) se registraron los mayores valores de lluvias que determinaron los picos más elevados de humedad relativa alcanzando niveles de 94% el 2 de noviembre y mínimos de 65,4% cinco días antes.

El evento más importante de lluvia (36mm) ocurrió el 1º. de noviembre y coincidió con altos niveles de humedad relativa, el día anterior llovieron 9,1 mm y posteriormente hasta madurez fisiológica se registraron siete eventos desde el 1º de noviembre de los cuales solamente dos de ellos superaron los 10 mm; los días 7 y 26 de noviembre donde llovieron 11,9 mm y 17,6 mm, respectivamente.

La temperatura media en general se mantuvo siempre por debajo de los 25°C y los días en los que se registraron las temperaturas más altas ambas variedades estaban bastante avanzadas en el ciclo (grano pastoso), 14 y 24 de noviembre con 24,7°C y 25,1°C, respectivamente.

Retención de anteras

Génesis 2359 presentó el mayor porcentaje de anteras retenidas en el promedio: el 75% de las espigas evaluadas retuvo anteras (Figura 16).

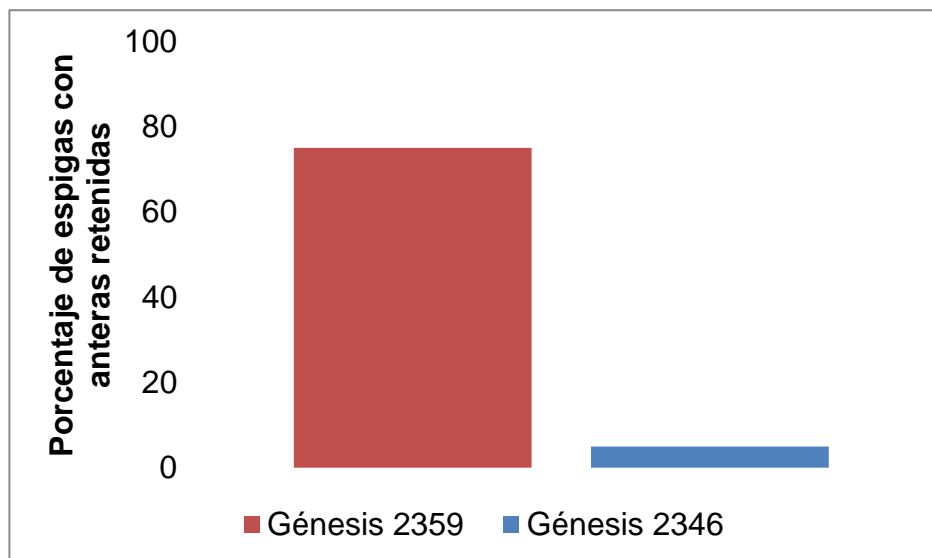


Figura 16. Porcentaje de retención de anteras de Génesis 2359 y Génesis 2346 en La Estanzuela sembrados el 18 de mayo del 2013

La retención de anteras por espiga en Génesis 2359 en promedio fue de 0,95 (según escala 0-3) representando aproximadamente el 30% de las anteras retenidas durante un periodo de tiempo de dos días. En Génesis 2346 se observó una retención de 0,03 (según escala 0-3) y se puede concluir que la retención de anteras fue relativamente nula en este cultivar.

4.2.1.2. La Estanzuela II

Los cultivares sembrados en esta época fueron expuestos a mayores temperaturas medias y días más largos, por lo que la tasa de desarrollo se incrementó y se redujo la duración de las etapas fenológicas desde espigazón hasta madurez fisiológica (Figura 17).

Espigazón-antesis

El periodo de floración (Z60-69) en Génesis 2359 fue mayor al de Génesis 2346, aunque la duración desde inicio de espigazón (Z50) a fin de antesis (Z69) en cuanto a cantidad de días fue similar entre las dos variedades.

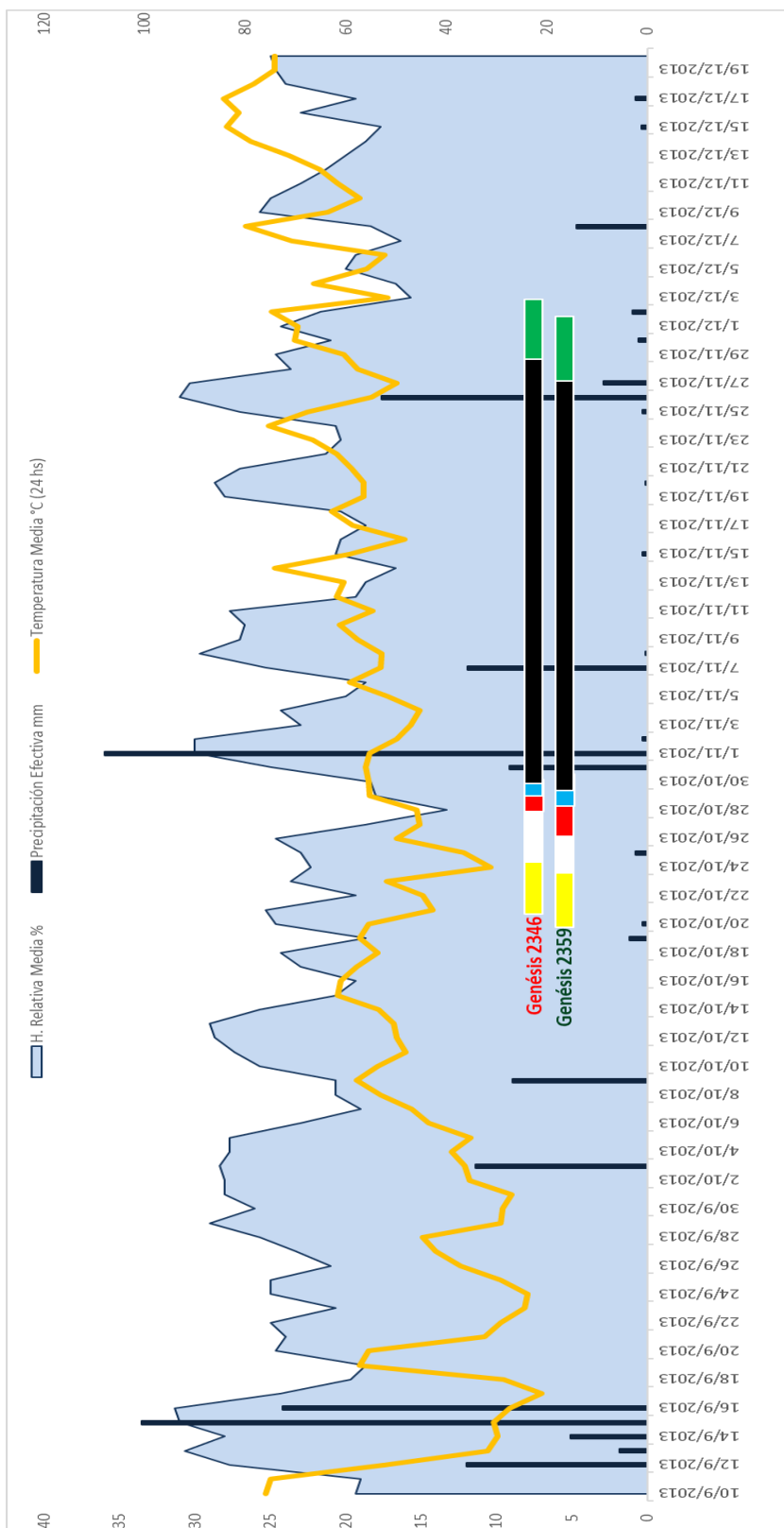
Durante este periodo no ocurrieron lluvias superiores a los 10 mm y se registraron solamente dos eventos de precipitación menores a 1 mm. Los registros más altos de humedad relativa para este periodo ocurrieron el 21 de octubre con 88,3% y el porcentaje más bajo se registró el 28 de octubre con

65,41%. El registro de lluvias acumulado entre estos días fue de 0,8 mm. Se destaca la baja temperatura media del 24 de octubre con valores de 10,4°C cuando las dos variedades estaban con el 100% de las espigas emergidas (Z59).

Antesis - madurez fisiológica

Durante este periodo se concentró la mayor parte de las lluvias. Se destacan los eventos ocurridos entre el 31 de octubre y el 1º. de noviembre cuando los cultivares se encontraban en comienzo de llenado de granos (Z73) donde se registraron 36 mm y, 9 mm, respectivamente. Posteriormente, se registraron 11 eventos de lluvia desde el 1 de noviembre hasta fin de madurez fisiológica destacándose los de los días 7 de noviembre con 11,9 mm, el del 14 de noviembre con 19,5 mm y el 26 de noviembre con 17,6 mm.

La temperatura media fue inferior a 25°C. La temperatura media más baja se registró el 24 de octubre, cuando ambos cultivares se encontraban con el 50% de las espigas emergidas. Para la segunda fecha de siembra los cultivares se vieron afectados por las altas temperaturas del 2 de diciembre de 24,9°C en promedio. Existió un mes de diferencia entre las dos fechas de siembra. Sin embargo, al momento de la cosecha la diferencia fue de aproximadamente 5 a 10 días entre lo que se sembró primero y lo que fue sembrado más tarde donde se acortaron todas las fases del ciclo.



Amarillo, 50% de espigas emergidas (Z55); blanco, 100% de espigas emergidas (Z60); rojo, principio de floración (Z65); celeste, fin de floración (Z69); negro, inicio de 1/4 grano desarrollado (Z72); verde, madurez fisiológica (Z90-99).

Figura 17. Estados fenológicos asociados a condiciones climáticas en trigo de ciclo largo, LE II

Retención de anteras

La retención de anteras para Génesis 2359 y Génesis 2346 en esta época de siembra fue menor a la anterior. La temperatura media en el momento en el que se realizó la medición fue superior a la ocurrida en la primera época de siembra (Figura 18).

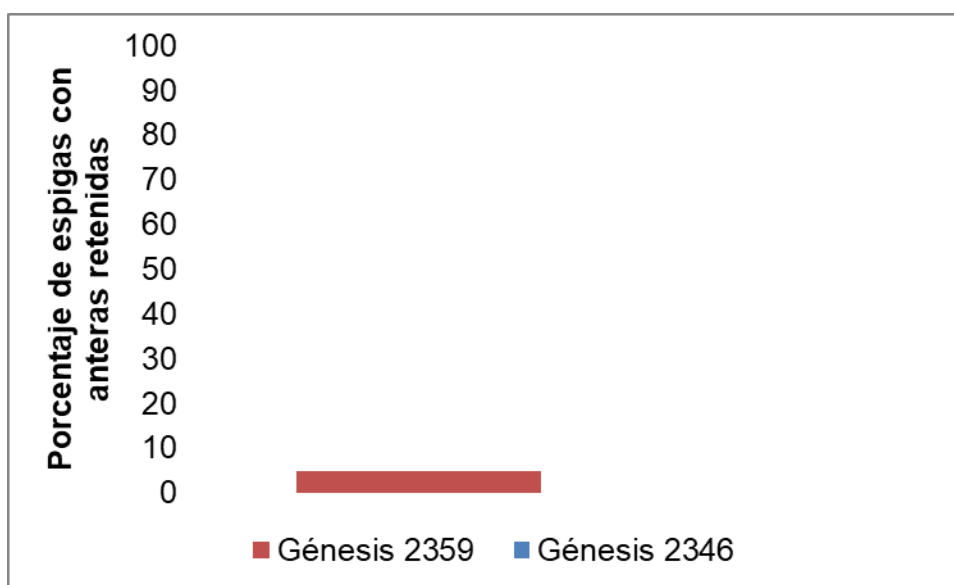


Figura 18. Porcentaje de retención de anteras de Génesis 2359 y Génesis 2346 en La Estanzuela sembrados el 18 de junio del 2013

Génesis 2359 fue la variedad que retuvo el mayor porcentaje de anteras al momento de la evaluación (11 de noviembre) e incluso con respecto a la escala de retención se obtuvieron datos de 0,05 lo que indica que por lo menos alguna espiga retuvo entre 1 y 30% de anteras durante dos días y Génesis 2346 no retuvo anteras, por lo tanto, el valor de la escala es 0.

4.2.1.3. Young

La duración de cada uno de los estados fenológicos en esta localidad fue similar a los sembrados tardíamente 18 de junio en La Estanzuela. Las condiciones de temperatura a las que estuvieron expuestos los cultivares para un mismo estado fenológico fueron superiores a las registradas en La Estanzuela para la siembra más temprana (Figura 19).

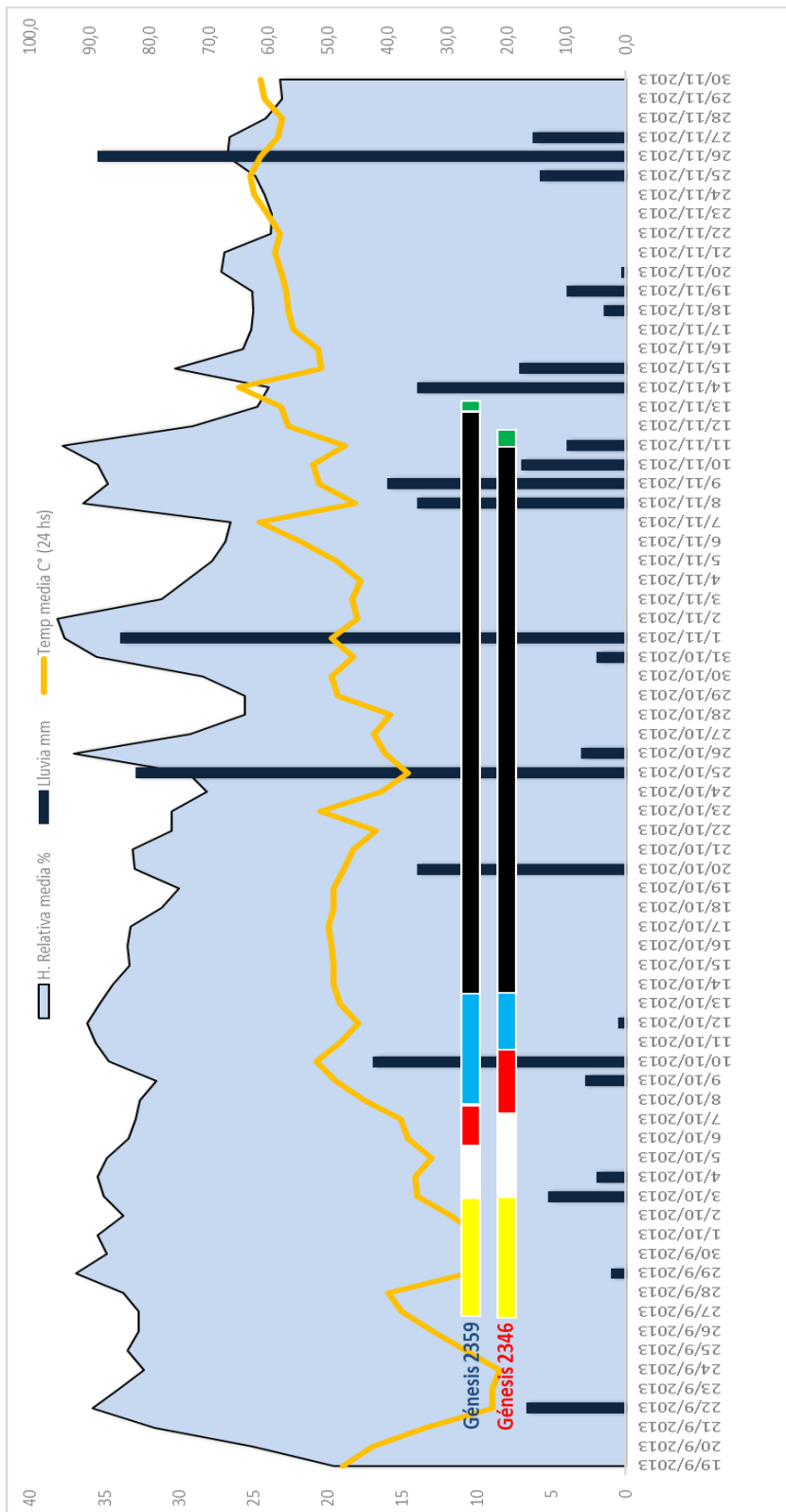
Espigazón-antesis

Se registraron tres eventos de lluvia inferiores a 10 mm en el periodo transcurrido desde el 50% al 100% de espigas emergidas (Z55-59) y otros tres durante el periodo de inicio a fin de antesis. El evento de mayor magnitud se observó el día 10 de octubre (17 mm), momento en que Génesis 2359 se encontraba finalizando floración (Z69) y Génesis 2346 comenzando la misma.

En general, la temperatura media sobre fines de setiembre del 2013 fue inferior al promedio histórico en la localidad de Young. Se registraron temperaturas mínimas de 10°C el 1 de octubre.

Antesis - madurez fisiológica

La mayor cantidad de eventos de lluvia se registró cuando los cultivares se encontraban en llenado de grano (Z73-99). Se destacaron dos eventos: 33 mm el 25 de octubre y 34 mm el 1 de noviembre asociados a picos importantes de humedad relativa los días posteriores de 93% y 95%, respectivamente. A medida que avanzó el llenado de grano la temperatura incrementó, pero nunca por encima de los 25°C. Los registros más altos fueron de 24,6°C ya sobre el final del ciclo.



Amarillo, 50% de espigas emergidas (Z55); blanco, 100% de espigas emergidas (Z60); rojo, principio de floración (Z65); celeste, fin de floración (Z69); negro, inicio 1/4 grano desarrollado (Z72); verde, madurez fisiológica (Z90-99).

Figura 19. Estados fenológicos asociados a condiciones climáticas en trigo de ciclo largo, Young

4.2.2 Trigo - ciclo intermedio

4.2.2.1 La Estanzuela I

Génesis 2375 e INIA Don Alberto presentaron un largo de ciclo similar de cada uno de sus estados fenológicos lo mismo ocurrió entre Baguette Premium 11 y Nogal (Figura 20). Esto determinó que los cuatro cultivares evaluados se diferenciaron en dos grupos de acuerdo con el total de días que comprendieron los estados fenológicos sobre los que se realizó el seguimiento.

Espigazón – antesis

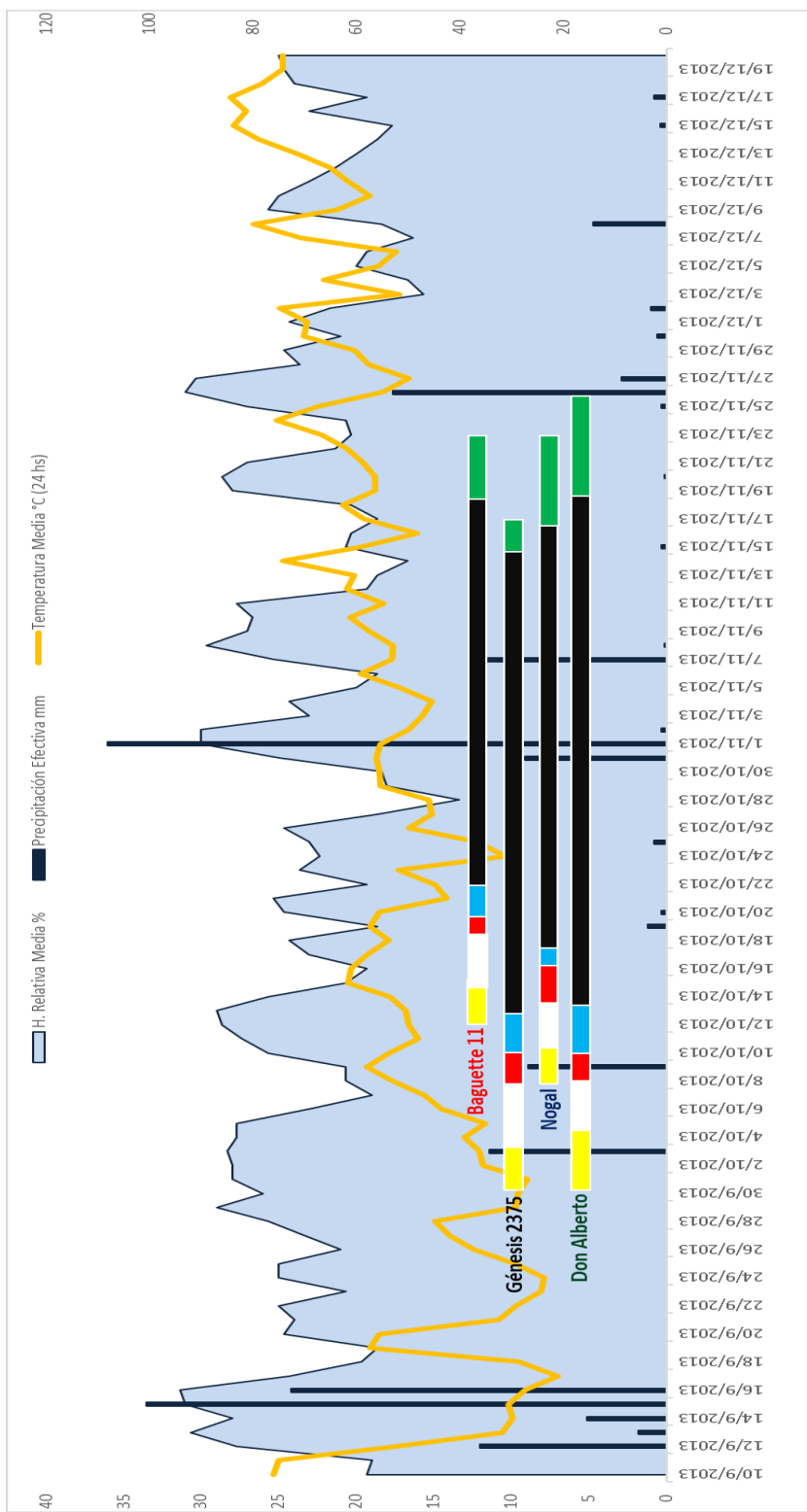
Se observaron diferencias entre los cultivares en los momentos de ocurrencia de cada una de las fases de espigazón hasta el principio de floración (Z60). En Génesis 2375 e INIA Don Alberto el periodo de antesis comenzó más temprano (30 de setiembre del 2013) y en ambos casos asociados a temperaturas más bajas que las ocurridas cuando comenzó la floración en Baguette Premium 11 y Nogal, los días 8 de octubre del 2013 y 12 de octubre del 2013, respectivamente. Durante la fase de espigazón de Génesis 2375 e INIA Don Alberto se registró un evento de lluvia de 14,5 mm (28 de setiembre). Posteriormente, al inicio de floración (Z60) se registró otro de 11,4 mm (3 de octubre), momento en que se evidenciaba un 50% de emergencia de espigas (Z55) en Nogal y Baguette Premium 11 aún no había comenzado a espigar. Las temperaturas medias más bajas registradas al comienzo de la evaluación (9°C el 1 de octubre) ocurrieron cuando Génesis 2375 e INIA Don Alberto se encontraban con el 50% de las espigas emergidas (Z55).

Los niveles más altos de humedad relativa durante esta fase se registraron el 14 de octubre (93%), cuando Génesis 2375 e INIA Don Alberto se encontraban culminando antesis, Nogal comenzando la misma y Baguette Premium 11 con el 50% de las espigas emergidas.

Antesis - madurez fisiológica

Los eventos de lluvias más importantes se registraron durante la fase de llenado de grano (Z73-99) en los cuatro cultivares, se observaron en total 10

eventos y se destacan aquellos ocurridos el 1 de noviembre (36 mm) y el 14 de noviembre (19,5 mm), asociados a altos porcentajes de humedad relativa los días posteriores (94% y 93%, respectivamente). La temperatura media nunca superó los 25°C. El registro más bajo de temperatura media fue el 24 de octubre cuando la temperatura media fue de 10,4 °C y las temperaturas diarias más elevadas ocurrieron el 14 de noviembre (24,7°C).



Amarillo, 50% de espigas emergidas (Z55); blanco, 100% de espigas emergidas (Z60); rojo, principio de floración (Z65); celeste, fin de floración (Z69); negro, inicio un cuarto de grano desarrollado (Z72); verde, madurez fisiológica (Z90-99).

Figura 20. Estados fenológicos asociados a condiciones climáticas en trigo de ciclo intermedio, LE I

Retención de Anteras

Nogal retuvo el 100% de las anteras al momento de la evaluación. Baguette Premium 11 presentó un porcentaje de retención de 58,3 %, Génesis 2375 retuvo un 25% y en el caso de INIA Don Alberto se determinó poca o nula retención de anteras (Figura 21).

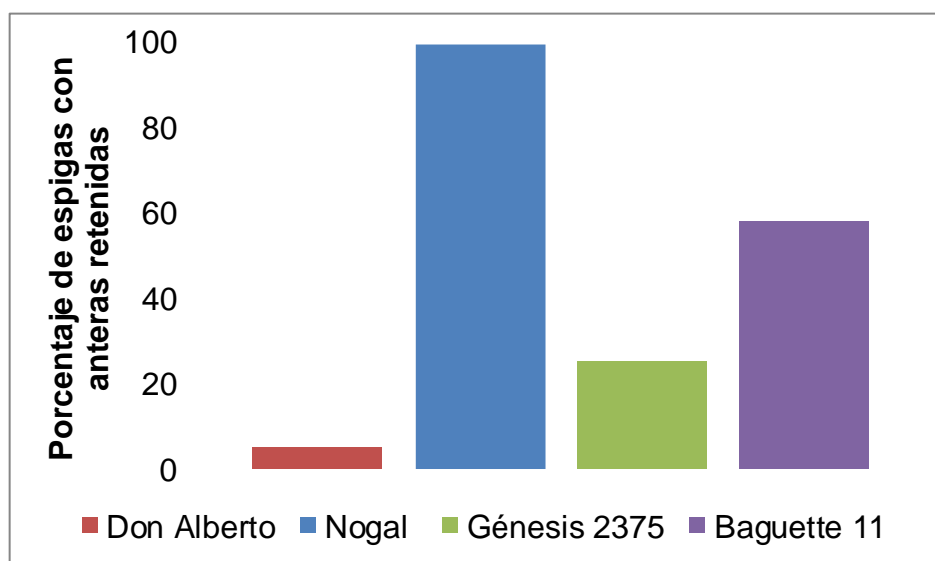


Figura 21. Porcentaje de retención de anteras de INIA Don Alberto, Nogal, Génesis 2375 y Baguette Premium 11 en La Estanzuela sembrados el 6 de junio del 2013

Nogal fue el que presentó los mayores niveles en la escala de retención de anteras con 1,86 (representando entre el 30% y el 60% de las anteras), seguido por Baguette Premium 11 que retuvo 0,56 en la escala de retención y Génesis 2375 con 0,31, INIA Don Alberto fue menos de 5 % de retención, no retuvo anteras.

4.2.2.2. La Estanzuela II

Espigazón – antesis

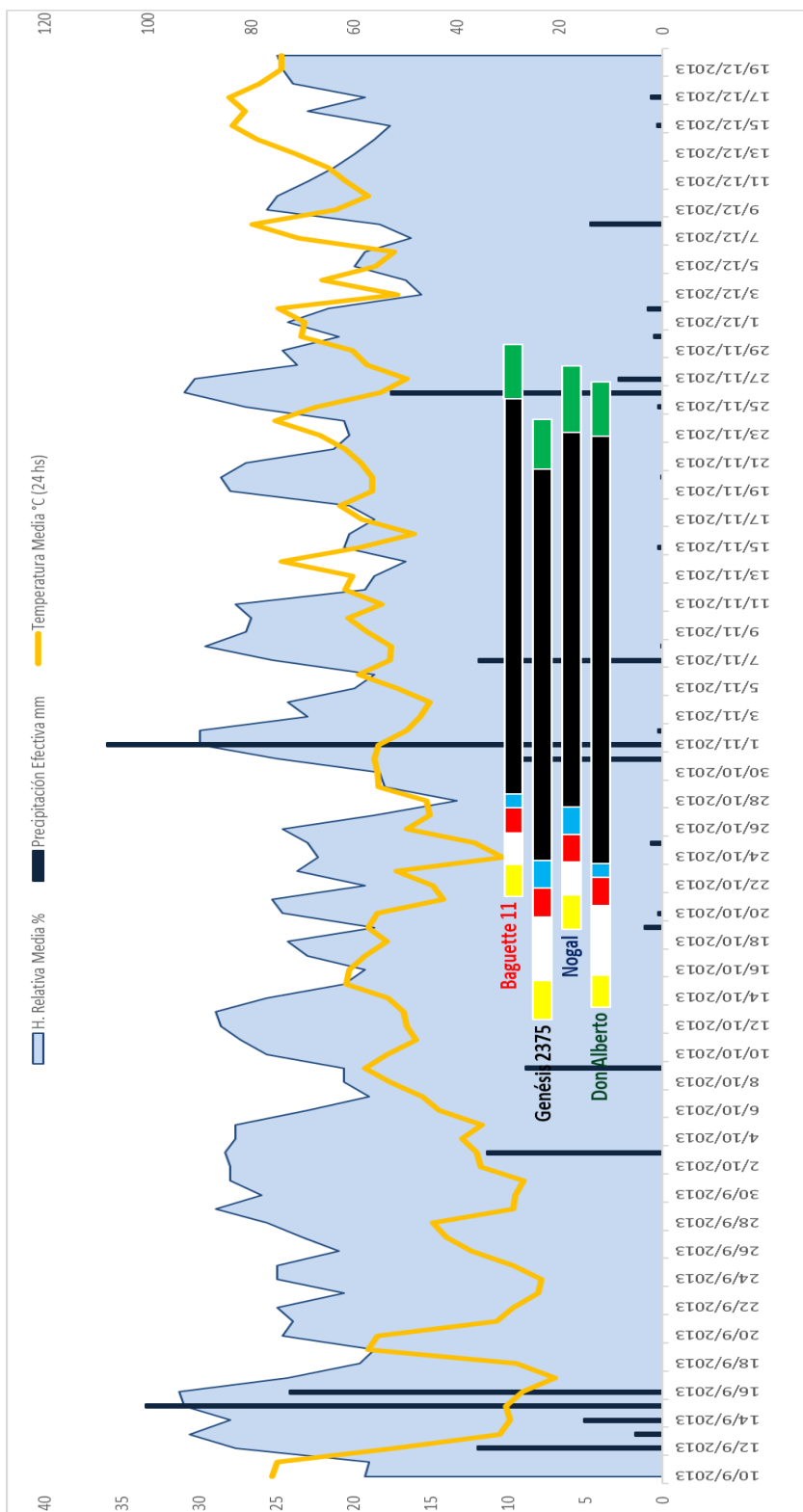
Génesis 2375 e INIA Don Alberto se diferenciaron de Baguette Premium 11 y Nogal en relación con el momento en el que ocurrieron cada uno de los eventos fenológicos y la duración de estos. En siembras tardías se encontraron expuestos a condiciones de mayor temperatura y días más largos y el ciclo de todas las variedades fue más corto (Figura 22).

Durante el periodo de espigazón-antesis (Z50-69) no ocurrieron eventos de lluvias mayores a 10 mm en ninguna de las variedades. Se destacaron las bajas temperaturas medias del 24 de octubre que afectaron principalmente esta fase del ciclo de Baguette Premium 11 que se encontraba iniciando floración.

Antesis - madurez fisiológica

Los eventos de lluvias mayores a 10 mm registradas el 30 de octubre y el 7 de noviembre, no incidieron en ninguno de los cultivares en este caso, así como las bajas temperaturas registradas el 1 de octubre (Figura 22). Hacia el fin del ciclo la temperatura media se incrementó y los eventos de lluvia mayores a 10 mm fueron más frecuentes en estados menos avanzados de los cultivos, especialmente en los cultivares Baguette Premium 11 y Nogal.

Los días de mayor temperatura media del periodo fueron el 14 y 24 de noviembre de 24,7°C y 25°C respectivamente. En este último día sólo Baguette Premium 11 se encontraba en últimas etapas de llenado de grano el resto ya se encontraba en la fase de madurez fisiológica.



Amarillo, 50% de espigas emergidas (Z55); blanco, 100% de espigas emergidas (Z60); rojo, principio de floración (Z65); celeste, fin de floración (Z69); negro, inicio de $\frac{1}{4}$ grano desarrollado (Z72); verde, madurez fisiológica (Z90-99).

Figura 22. Estados fenológicos asociados a condiciones climáticas en trigo de ciclo intermedio, LE II

Retención de anteras

Se observó un mismo patrón de comportamiento al de la primera fecha de siembra al evaluar la retención de anteras, entre los días 23 de octubre y 7 de noviembre.

El 100% de las espigas (Z59) de Nogal retuvieron anteras, mientras que en Baguette Premium 11 fue el 60% de las espigas, este cultivar retuvo un mayor porcentaje que la primera fecha de siembra, Génesis 2375 retuvo anteras en un 20% de las espigas INIA Don Alberto no retuvo anteras (Figura 23).

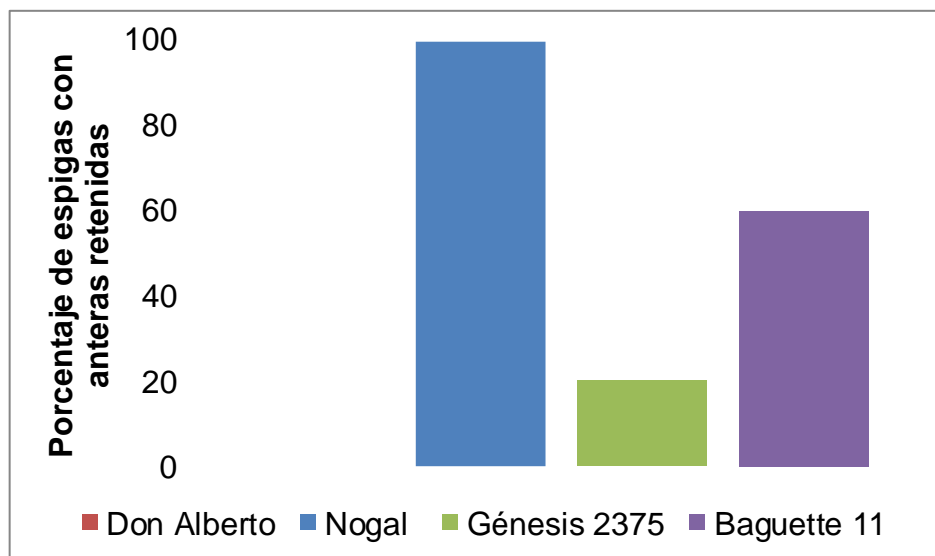


Figura 23. Porcentaje de retención de anteras de INIA Don Alberto, Nogal, Génesis 2375 y Baguette Premium 11 en La Estanzuela sembrados el 27 de junio del 2013

En Nogal se registró el mayor valor de la escala de retención (1.1, equivalente a retención de 30%), en Baguette Premium 11 con 0,65 y Génesis 2375 con 0,26, INIA Don Alberto no retuvo anteras.

4.2.2.3. Young

Espigazón - antesis

En Young la espigazón (Z50-59) se registró en Génesis 2375 e INIA Don Alberto el día 20 de setiembre. Al estado de 50% de espigas emergidas (Z55) se registraron 6,7 mm de lluvia (22 de setiembre) y bajas temperaturas medias 8,5°C el 24 de setiembre (Figura 24).

Cuando Baguette Premium 11 y Nogal se encontraban con el 50% de las espigas emergidas (Z55) la temperatura más baja fue de 9,9°C el 1 de octubre y al igual que en las otras dos variedades ocurrió un evento de lluvia de 5,2 mm el 3 de octubre, momento en que Génesis 2375 y INIA Don Alberto se encontraban en plena floración (Z64). El 10 de octubre se registró un evento de lluvia de 17 mm y se produjo un incremento de la temperatura media hasta 20,8°C.

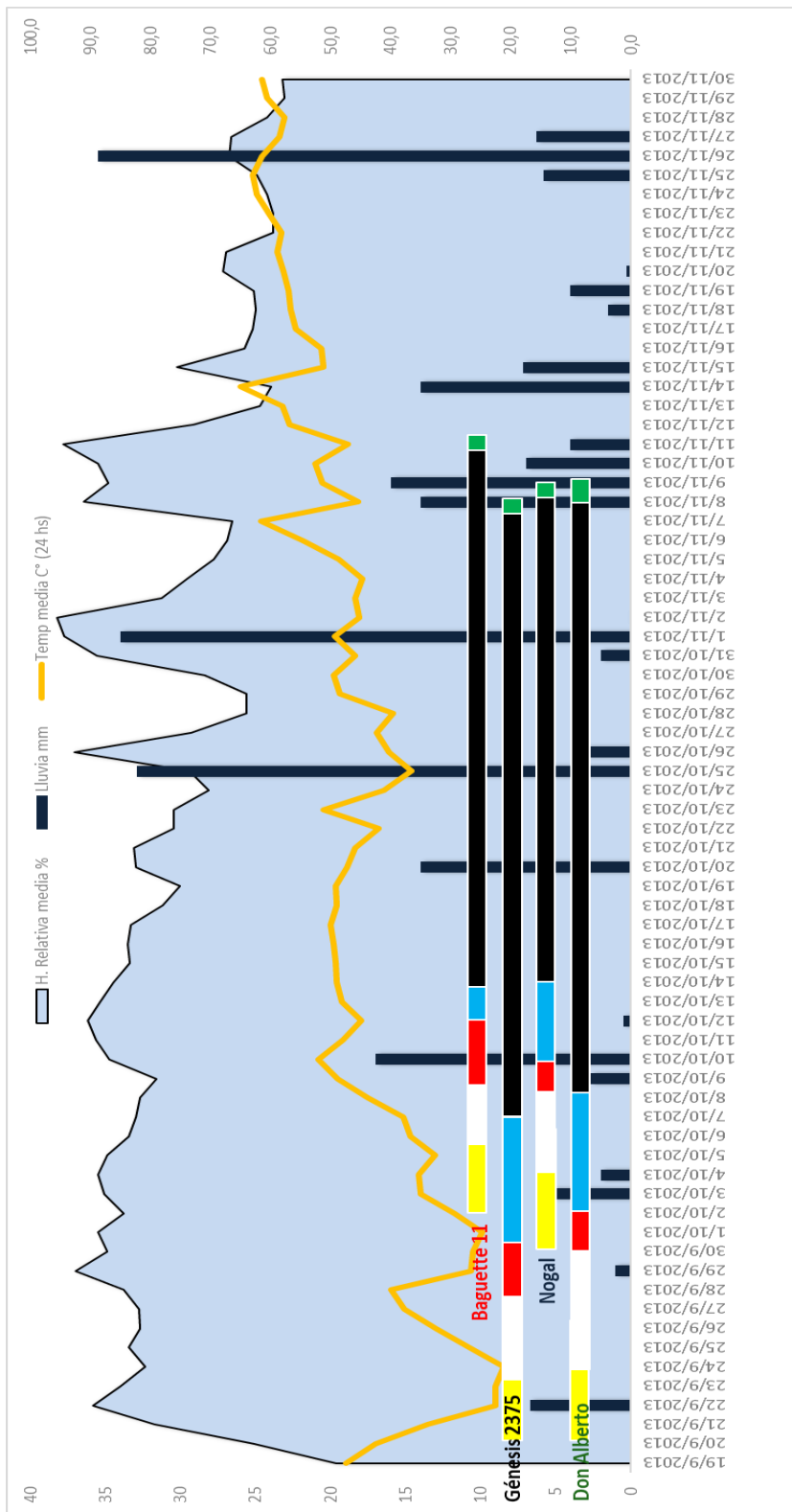
En este momento Nogal y Baguette Premium 11 se encontraban en plena floración Z62, mientras que Génesis 2375 e INIA Don Alberto estaban comenzando el llenado de grano (Z73).

Antesis - madurez fisiológica

A partir del 10 de octubre se registraron varios eventos de lluvias al momento en que las cuatro variedades se encontraban en el periodo de llenado de grano. Se destacan los eventos registrados el 25 de octubre y el 1 de noviembre de 32,9 mm y 34 mm, respectivamente (Figura 24).

Hacia el final del ciclo de Baguette Premium 11 desde los días 8 al 11 de noviembre ocurrieron cuatro días de lluvias consecutivos, y previo a estos se registró el día de mayor temperatura media del periodo de evaluación (24.6°C; el 7 de noviembre).

En este momento el resto de los cultivares ya habían sido cosechado (Nogal, Génesis 2375 e Don Alberto) o se encontraban en el estado de madurez fisiológica (Z90-99).



Amarillo, 50% de espigas emergidas (Z55); blanco, 100% de espigas emergidas (Z60); rojo, principio de floración (Z65); celeste, fin de floración (Z69); negro, inicio 1/4 grano desarrollado (Z72); verde, madurez fisiológica (Z90-99).

Figura 24. Estados fenológicos asociados a condiciones climáticas en trigo de ciclo intermedio, Young

4.2.3 Cebada

4.2.3.1. La Estanzuela

En La Estanzuela los cultivares presentaron diferencias en cuanto a la duración de sus ciclos desde espigazón hasta madurez fisiológica. Musa 936 y Conchita presentaron ciclos más cortos, y se cosecharon entre cuatro y siete días antes que INIA Arrayán e INIA Ceibo (Figura 25).

Aparición de aristas – espigazón

Musa 936 fue el cultivar de ciclo más corto. La aparición de las primeras aristas (Z50) en este cultivar se observó en la mayoría de las espigas marcadas el 22 de setiembre en condiciones de menor temperatura media. La temperatura promedio entre aparición de las primeras aristas (Z50) y el 50% de las aristas emergidas (Z55) fue de 8,9 °C, a partir de este momento la temperatura comenzó a aumentar (Figura 26). Todos los eventos de lluvias que se registraron durante el periodo de evaluación estuvieron asociados a condiciones de mayor temperatura media y mayor porcentaje de humedad relativa.

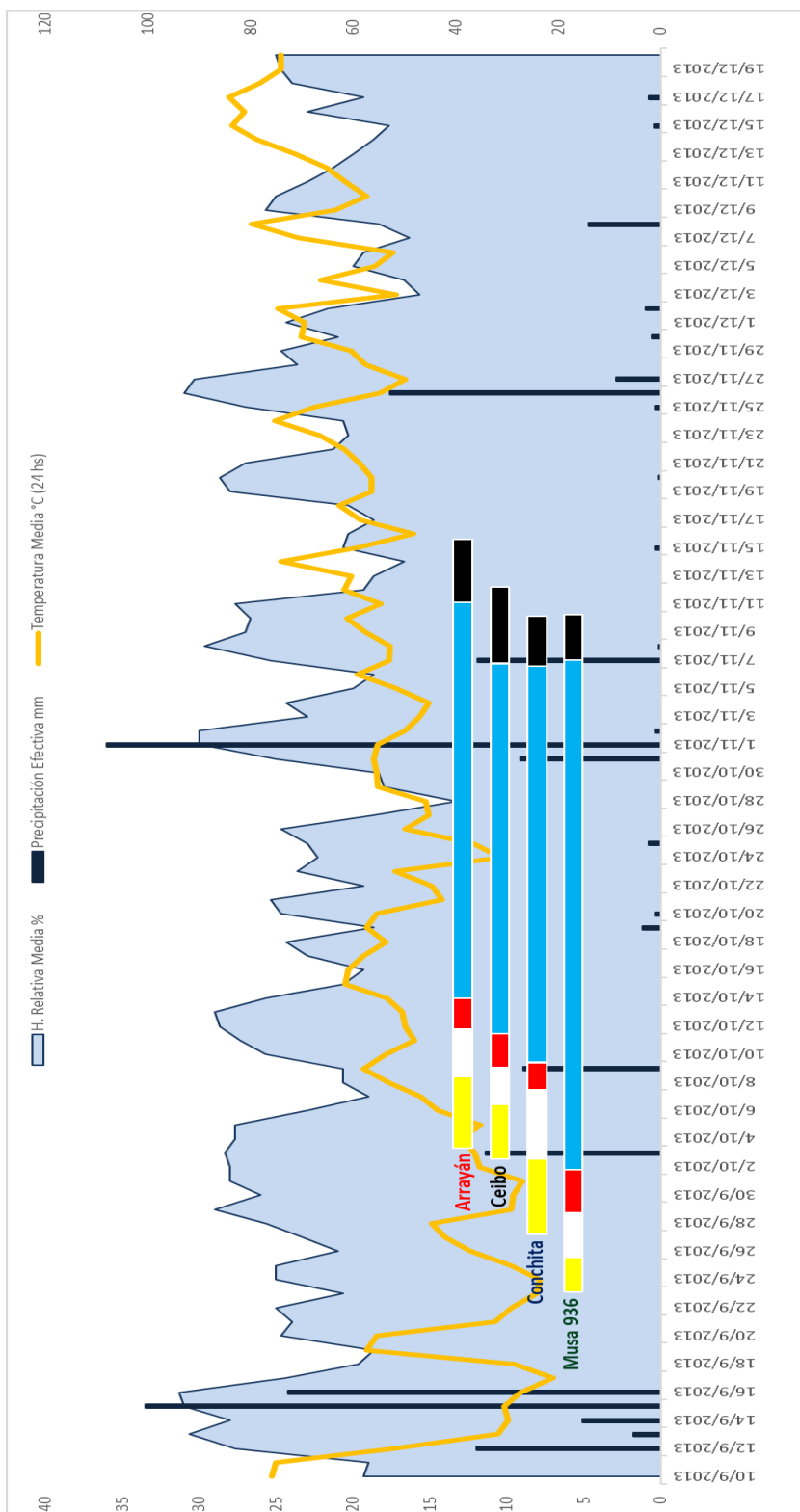
El día 28 de setiembre ocurrió un evento de lluvia de 14.5 mm cuando el 100% de las espigas de Musa 936 estaban visibles y Conchita presentaba las primeras aristas visibles. El segundo evento de lluvia del día 3 de octubre fue de 11,4 mm, Musa 936 se encontraba en el estado de Z72, Conchita presentaba el 50% de las aristas fuera de las vainas (Z55), mientras que en Inia Arrayán e Inia Ceibo se podían visualizar las primeras aristas (Z50).

A partir del segundo evento de lluvia la temperatura media se incrementó alcanzando el máximo valor de 19,3 °C el mismo día en el que se registró el tercer evento de lluvias 8,9 mm, Musa 936 se encontraba llenando grano (Z74) en grano lechoso, Conchita en Z72, INIA Arrayán con el 50% de las espigas emergidas (Z55) e INIA Ceibo con el 100% de las espigas emergidas (Z59).

Espigazón - madurez fisiológica

Luego de la espigazón se registraron tres eventos más de lluvias con un volumen inferior a 5 mm y otros dos eventos más importantes: 9,1 mm 30 de octubre y 36 mm al día siguiente. Posteriormente hasta la cosecha ocurrieron dos eventos, los días 7 de noviembre y 15 de noviembre, siendo este último de 19,5 mm previo a la cosecha de INIA Arrayán (ultima variedad en cosecharse). El 24 de octubre se registró la temperatura media más baja (10,4 °C).

Los cultivares se encontraban en los siguientes estados fenológicos: INIA Arrayán, Z74; INIA Ceibo, Z76; Conchita, Z77; y Musa 936 en Z79. A partir de ese día la temperatura media comenzó progresivamente a incrementarse, aunque siempre en valores por debajo de los 25°C. Luego del 14 de noviembre, momento en que todos los cultivares excepto INIA Arrayán habían sido cosechados, se registró el día con mayor temperatura media (24,7°C) y lluvia de 19,5 mm, en este momento las únicas espigas que no habían sido cosechadas eran las de INIA Arrayán.



Amarillo, aparición de primeras espigas (Z50); blanco, 50% de espigas emergidas (Z55); rojo, 100% de espigas emergidas (Z60); celeste, inicio $\frac{1}{4}$ de grano (Z72); negro, madurez fisiológica (Z90-99).

Figura 25. Estados fenológicos asociados a condiciones climáticas en cebada, LE

4.2.3.2. Young

Aparición de aristas – espigazón

En Young, la aparición de las primeras aristas comenzó siete días antes en las variedades de ciclos más cortos Musa 936 y Conchita, comparados con los ciclos más largos INIA Arrayán e INIA Ceibo. En Musa 936 la etapa de 100% de espigas emergidas no se extendió tanto en el tiempo e incluso fue más corta que para el resto de las variedades cuya duración es similar en días (Figura 26).

El primer evento de lluvias registrado durante el período de la evaluación fue de 6,7 mm el día 22 de setiembre, Musa 936 y Conchita se encontraban en el estado de primeras aristas visibles (Z52). Los días 29 de octubre, 3 de octubre y 4 de octubre ocurrieron otros eventos de menor importancia que afectaron a todas las variedades, pero que no superaron los 6 mm.

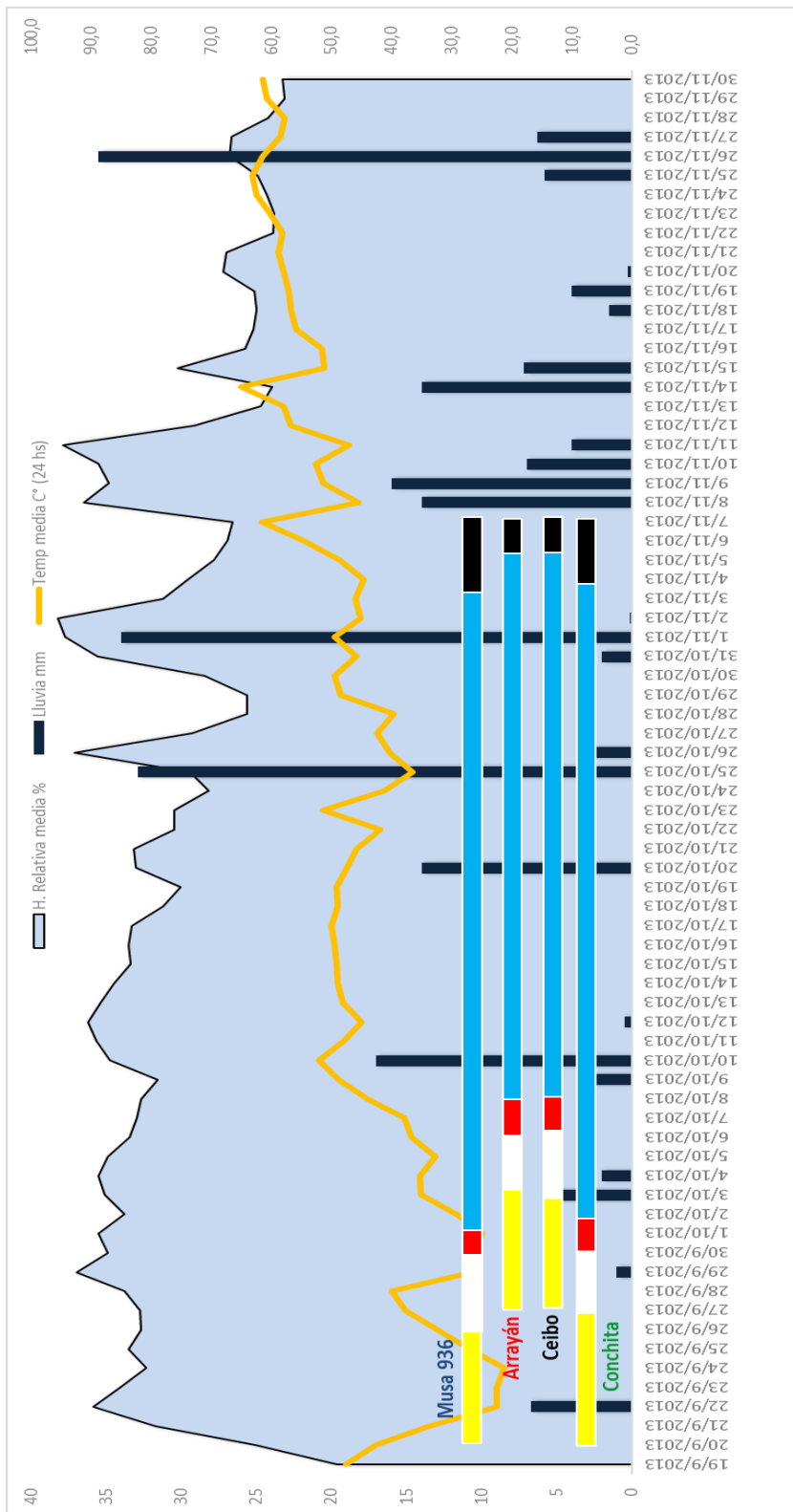
Espigazón - madurez fisiológica

El 10 de octubre se registró una lluvia de 17 mm, acompañada de un incremento en la temperatura media (20,8 °C). Dos días después se registraron picos de humedad relativa de 90%. En ese momento todos los cultivos se encontraban en etapa de llenado de grano (Z73-99), INIA Arrayán e INIA ceibo se encontraban a dos días de haber comenzado con la fase de $\frac{1}{4}$ de grano (Z75), mientras que Conchita y Musa 936 se encontraban a 8 y 9 días respectivamente desde el comienzo de esta fase (Figura 26).

Durante todo el ciclo de cultivo, la temperatura media se mantuvo por debajo de los 25°C. Los días 20 de octubre, 25 de octubre y el 1 de noviembre ocurrieron los tres eventos de lluvia más destacables: 14 mm, 33 mm y 34 mm, respectivamente. Musa 936 y Conchita quedaron expuestas a mayor cantidad de eventos de lluvia durante el periodo de tiempo en que se realizó el seguimiento desde el 20 de setiembre al 07 de noviembre.

El porcentaje de humedad relativa se mantuvo entre 80-90% durante

gran parte del periodo de evaluación y comenzó a descender sobre el final del ciclo de los cultivos y la temperatura media comenzó a incrementar.



Amarillo, aparición de primeras espigas (Z50); blanco, 50% de espigas emergidas (Z55); rojo, 100% de espigas emergidas (Z60); celeste, inicio $\frac{1}{4}$ de grano (Z72); negro, madurez fisiológica (Z90-99).

Figura 26. Estados fenológicos asociados a condiciones climáticas en cebada, Young

4.3 FUSARIOSIS DE LA ESPIGA (FE)

4.3.1 Fusariosis en grano a campo en trigo ciclo largo

No se encontraron diferencias significativas entre cultivares ni ambientes para el porcentaje de espiguillas afectadas con FE (Cuadro 3).

Cuadro 3. Espiguillas con FE (%) en los cultivares de trigo Génesis 2346 y Génesis 2359, en La Estanzuela y Young (2013)

Cultivares	Young	LE 1	LE 2	Media
Génesis 2359	8,16	4,37	4,46	5,66 a
Génesis 2346	8,14	2,15	4,94	5,08 a
Media	8,15 A	3,26 A	4,70 A	5,37

Valores promedio ambiente (mayúscula) y cultivar (minúsculas) seguidas de letras iguales no son significativamente diferentes según Tukey (P=0.05).

LE1: La Estanzuela, siembra del 18 de mayo del 2013.

LE2: La Estanzuela, siembra del 18 de junio del 2013.

En Young el valor promedio de espiguillas afectadas de todos los cultivares fue superior a lo que se obtuvo en las dos fechas de siembra en La Estanzuela.

El nivel de espiguillas afectadas por cultivar dentro de cada ambiente donde fueron evaluados en general fue similar, sin embargo, Génesis 2346 fue el que registró el menor nivel de severidad de FE cuando fueron sembrados en fechas tempranas.

4.3.2 Fusariosis en grano a campo en trigo ciclo intermedio

Se encontraron diferencias significativas tanto a nivel de cultivares como de ambientes, para las espiguillas afectadas por FE (Cuadro 4).

Cuadro 4. Espiguillas con FE (%) en los cultivares de trigo INIA Don Alberto, Nogal, Baguette Premium 11, Génesis 2375, en La Estanzuela y Young (2013)

Cultivares	Young	LE1	LE2	Media
INIA Don Alberto	9,43	2,91	1,96	4,77 a
Nogal	8,05	2,88	0,58	3,83 ab
Baguette Premium 11	5,11	1,15	2,00	2,75 ab
Génesis 2375	1,21	0,40	0,30	0,63 b
Media	5,95 A	1,83 B	1,21 B	3,00

Valores promedios ambiente y cultivar seguidas de letras iguales no son significativamente diferentes según Tukey ($P=0.05$)

LE1: La Estanzuela, siembra del 18 de mayo del 2013.

LE2: La Estanzuela, siembra del 18 de junio del 2013.

El cultivar con mayor porcentaje de espiguillas afectadas fue INIA Don Alberto, superando significativamente en promedio de ambientes el valor registrado por Génesis 2375 que en este caso fue el que presentó los menores valores de severidad en todos los ambientes. La severidad de FE en INIA Don Alberto fue mayor en Young con respecto a la registrada tanto en la primera como en la segunda época de siembra en La Estanzuela.

En Nogal, la severidad de FE observada en promedio en Young fue significativamente superior a la registrada en la primer y segunda época de siembra en La Estanzuela. Baguette Premium 11 presentó mayor severidad de FE en Young con respecto a los otros ambientes.

Génesis 2375 fue el cultivar que presentó la menor severidad de FE en los tres ambientes. En Young, este cultivar tuvo el mayor porcentaje de espiguillas con FE con respecto a las dos fechas de siembra en La Estanzuela. No existieron diferencias significativas para este cultivar sobre los tres ambientes donde fue evaluado.

En Young se registró la mayor severidad de FE promedio de espiguillas con FE a campo de todos los cultivares de trigo ciclo intermedio evaluados, siendo superior a los niveles registrados en las distintas fechas de siembra evaluadas en La Estanzuela.

4.3.3 Fusariosis en grano a campo en cebada

Existieron diferencias significativas entre ambientes en la severidad de FE. No se encontraron diferencias significativas entre los cultivares (Cuadro 5).

Cuadro 5. Espiguillas con FE (% severidad) en los cultivares de cebada INIA Ceibo, Conchita, Musa 936 e INIA Arrayán en La Estanzuela y Young (2013)

Cultivares	Young	LE	Media
INIA Ceibo	4,18	0,57	2,38 a
Conchita	2,04	0,70	1,37 a
Musa 936	2,47	0,16	1,32 a
INIA Arrayán	0,75	0,34	0,55 a
Media	2,36 A	0,44 B	1, 40

Valores promedios ambiente y cultivar seguidas de letras iguales no son significativamente diferentes según Tukey ($P=0.05$)

En INIA Ceibo se registró la mayor cantidad de espiguillas afectadas por FE. En este cultivar se observó mayor severidad en Young respecto a La Estanzuela. Conchita y Musa 936 presentaron mayor número de espiguillas con FE en Young con respecto a la misma época de siembra en La Estanzuela. Los niveles de FE fueron similares en INIA Arrayán y los más bajos obtenidos en comparación al resto de los cultivares.

4.3.4 Fusariosis en grano cosechado en trigo de ciclo largo

No existieron diferencias significativas al ($P=0.05$) entre cultivares ni ambientes en el porcentaje de granos con *Fusarium* luego de la cosecha (Cuadro 6).

Cuadro 6. Granos con *Fusarium* (%) luego de la cosecha en cultivares de trigo Génesis 2346 y Génesis 2359 en La Estanzuela y Young (2013)

Cultivares	Young	LE 1	LE 2	Media
Génesis 2359	5,46	7,76	4,28	5,83 a
Génesis 2346	3,87	3,66	6,07	4,53 a
Media	4,66 A	5,71 A	5,17A	5,18

Valores promedios ambiente y cultivar seguidas de letras iguales no son

significativamente diferentes según Tukey ($P=0.05$).
 LE1: La Estanzuela, siembra del 18 de mayo del 2013.
 LE2: La Estanzuela, siembra del 18 de junio del 2013.

No se observaron diferencias significativas entre cultivares para la media del porcentaje de granos con *Fusarium* en todos los ambientes. Sin embargo, Génesis 2359 presentó un mayor porcentaje de granos con *Fusarium* (1.3 % mayor) en comparación a Génesis 2346.

Génesis 2359 presentó el mayor valor de infección de *Fusarium* en grano en la primera época de siembra en La Estanzuela. En Génesis 2346 se observó el mayor valor en la segunda época de siembra.

En la primera época de siembra en La Estanzuela se obtuvo la mayor infección de granos con *Fusarium*, mientras que en Young se registró el menor porcentaje de granos con *Fusarium*.

4.3.5 Fusariosis en grano cosechado en trigo intermedio

No existieron diferencias significativas entre ambientes para el porcentaje de granos con *Fusarium*. Se observaron diferencias significativas entre cultivares para esta variable (Cuadro 7). Génesis 2375 presentó significativamente menor porcentaje de granos con *Fusarium* comparado con los demás cultivares en el conjunto de ambientes (Cuadro 7).

Cuadro 7. Granos con *Fusarium* (%) luego de la cosecha en los cultivares de trigo INIA Don Alberto, Nogal, Baguette Premium 11, Génesis 2375, en La Estanzuela y Young (2013)

Cultivares	Young	LE 1	LE 2	Media
Baguette Premium 11	4,91	3,66	8,02	5,53 a
Nogal	4,8	2,66	7,90	5,12 a
INIA Don Alberto	6,61	6,76	1,53	4,96 a
Génesis 2375	0,87	3,54	0,25	1,55 b
Media	4,30 A	4,15 A	4,43 A	4,29

Valores promedios ambiente y cultivar seguidas de letras iguales no son significativamente diferentes según Tukey ($P=0.05$).
 LE1: La Estanzuela, siembra del 18 de mayo del 2013.
 LE2: La Estanzuela, siembra del 18 de junio del 2013.

En la primer fecha de siembra de La Estanzuela, el cultivar que

presentó menor porcentaje de granos con *Fusarium* fue Nogal, luego Génesis 2375, Baguette Premium 11 y por último INIA Don Alberto. Por el contrario, en la segunda fecha de siembra en la misma localidad y se registró que Génesis 2375 tuvo la menor proporción de granos con *Fusarium*, luego INIA Don Alberto, Nogal y por último Baguette Premium 11.

Baguette Premium 11, Nogal e INIA Don Alberto fueron los cultivares con mayor porcentaje de granos con *Fusarium*, diferenciándose significativamente en promedio de Génesis 2375.

Los mayores porcentajes de granos en Young y en la primera época de siembra de La Estanzuela se registraron en INIA Don Alberto. En este último ambiente, el nivel fue superior al obtenido en la segunda época de siembra en La Estanzuela. El porcentaje de granos con *Fusarium* en Génesis 2375 en la primera época de siembra superó los valores obtenidos en Young y en la segunda época de siembra de La Estanzuela. En esta última se registró el menor porcentaje de granos con *Fusarium*.

La correlación entre la severidad de FE a campo y el porcentaje de granos con *Fusarium* luego de la cosecha fue alta ($r= 0.90$) y significativa ($p= 0.05$).

4.3.6 Fusariosis en grano cosechado en cebada

Se encontraron diferencias significativas entre ambientes para el porcentaje de granos con *Fusarium*. En Young, se obtuvo en promedio un porcentaje superior al registrado en La Estanzuela (3.61% vs. 1.07%). No se encontraron diferencias significativas entre cultivares para esta variable (Cuadro 8).

Cuadro 8. Granos con *Fusarium* (%) luego de la cosecha en los cultivares de cebada INIA Ceibo, Conchita, Musa 936 e INIA Arrayán, en La Estanzuela (LE) y Young (2013)

Cultivares	Young	LE	Media
INIA Ceibo	6,87	1,09	3,98 a
INIA Arrayán	4,25	0,67	2,46 a
Conchita	1,96	1,36	1,66 a
Musa 936	1,38	1,16	1,27 a
Media	3,61A	1,07B	2,34

Valores promedios ambiente y cultivar seguidas de letras iguales no son significativamente diferentes según Tukey ($P=0.05$).

En Young, INIA Ceibo presentó un mayor porcentaje de granos con *Fusarium* en relación con el registrado en La Estanzuela, mientras que INIA Arrayán presentó un porcentaje de granos con *Fusarium* en Young comparado al registrado en La Estanzuela. Musa 936 y Conchita presentaron los menores valores de grano con *Fusarium* en Young. La correlación entre la severidad de FE a campo y el porcentaje de granos con *Fusarium* luego de la cosecha fue intermedio-alto ($r= 0.76$) y significativo ($p= 0.001$).

5. DISCUSIÓN

Al finalizar el presente trabajo se comprobó al comparar los resultados obtenidos en el laboratorio con los resultados que se obtuvieron a nivel de campo, para los cultivares estudiados, que los estados fenológicos más susceptibles a infección de FE estuvieron comprendidos entre antesis (Z61-69) y principio de llenado de grano (Z70-705) en trigo y desde espigazón (Z55) hasta principios de llenado de grano (Z70-705) en cebada. Esto coincide con la información presentada por Strange y Smith (1971), Bushnell et al. (2003). En ambos cultivos, existió un periodo post-infección donde ciertas condiciones climáticas pudieron favorecer el desarrollo de FE, las mismas incluyen presencia de agua libre en la espiga entre 48-72 horas, alta humedad relativa (mayor a 75%) y temperaturas óptimas cercanas a 25°C (Andersen, 1948).

Entre los cultivares de trigo de ciclo largo estudiados, la duración de la etapa de espigazón hasta madurez fisiológica fue similar (Castro et al., 2014). Aun cuando en todos los ambientes estudiados ocurrieron condiciones óptimas para la infección en ciertos períodos, Young fue el ambiente más favorable para la expresión de la FE debido a que los estados fenológicos más susceptibles estuvieron asociados a un mayor número de eventos y volumen de lluvias, temperaturas óptimas y humedad relativa más alta. En este ambiente, Génesis 2359 presentó la mayor infección de FE y podría estar relacionado por la susceptibilidad de este cultivar y por la ocurrencia de lluvias durante el período de antesis (Z61-69).

Se encontró variabilidad en el tiempo de retención de las anteras entre todos los cultivares evaluados. La capacidad de retención de anteras es una particularidad que pueden presentar algunos genotipos de trigo (Strange et al., 1974) y puede ser relevante en el momento de infección a FE. Ello estaría asociado a la presencia de dos compuestos en las anteras, betaína y colina, capaces de actuar como sustratos favorables para el ingreso del hongo (Strange et al., 1974).

Se puede sugerir que el período más prolongado de exposición de anteras en Génesis 2359 en relación con Génesis 2346, podría haber contribuido a la mayor infección de FE registrada en el primero. Aun cuando la retención de anteras en Génesis 2359 pudo haber favorecido a la infección de FE, se debe considerar como un factor secundario, comparado con el efecto de las condiciones climáticas (Andersen, 1948) y la resistencia genética del cultivar.

De presentarse condiciones predisponentes, la resistencia genética de

cada uno de los materiales fue un factor determinante en magnificar el efecto de la infección por FE. Esto reafirma la importancia del desarrollo de cultivares resistentes como una medida importante para el manejo integrado de FE (Miedaner et al., 2003).

En este sentido, se realizó la comparación de dos cultivares de ciclo intermedio con comportamiento contrastante frente a FE como Génesis 2375 (moderadamente resistente) e INIA Don Alberto (susceptible, Castro et al., 2013) de ciclos fenológicos similares entre sí, que estuvieron expuestos a condiciones climáticas similares desde el comienzo de antesis (Z61-62) y cuyos niveles de exposición de anteras fueron similares. Génesis 2375 retuvo anteras en niveles cercanos al 20/25% y en el caso de INIA Don Alberto la retención fue casi nula. Sin embargo, las diferencias observadas en severidad de FE entre estos cultivares fueron importantes. En el promedio de los tres ambientes estudiados, INIA Don Alberto tuvo un 4,7% de sus espiguillas afectadas por FE versus 0,63% de las espiguillas de Génesis 2375 (Figura 22).

Esto podría estar determinado por el comportamiento genético que poseen frente a FE. La diferenciación de estos cultivares en cuanto a los niveles de incidencia y severidad de FE al momento de la evaluación a campo, también se vio reflejado en el porcentaje de granos con *Fusarium* luego de la cosecha. A esto se debe considerar que entre la lectura de FE a campo y la cosecha del grano ocurrieron eventos y volúmenes de lluvia suficientes para favorecer el desarrollo de FE durante las últimas etapas de llenado de grano y coincide con lo establecido por Birzele et al. (2002).

Probablemente, gran parte de los valores altos de porcentaje de espiguillas con FE a campo y de granos con *Fusarium* en postcosecha en las variedades estudiadas haya estado asociado directamente al grado de susceptibilidad del cultivar frente a FE. Sin embargo, las condiciones climáticas, en especial la intensidad y frecuencia de lluvias ocurridas durante el transcurso del final del periodo de llenado de grano (luego de la evaluación de campo) pudieron determinar una mayor infección y/o colonización de los granos con *Fusarium* a la cosecha incidiendo en manera negativa en la calidad del grano cosechable (Vázquez, 2012).

Al comparar las dos fechas de siembra de La Estanzuela, se observó que todos los cultivares de trigo de ciclo intermedio presentaron respuesta al fotoperiodo y al aumento de temperatura. En este sentido, a mayor duración del día (siembra tardía) y a mayor temperatura, la tasa de desarrollo aumenta y la longitud del ciclo a antesis se reduce hasta alcanzar el fotoperiodo umbral lo que determina un ciclo más corto en días (Gear 2005, Whitechurch et al. 2007).

Cuando se atrasa la fecha de siembra las diferencias de largo de ciclo entre los materiales disminuyen (Castro et al., 2014), ocasionando además una reducción en el periodo de tiempo durante el que los cultivares permanecen expuestos a las condiciones climáticas que pueden ser predisponentes para la infección de FE (Andersen, 1948). Este efecto se observó principalmente en Young, donde se registra mayor cantidad de horas de luz con respecto a La Estanzuela.

La presencia de granos con *Fusarium* en postcosecha afecta la comercialización determinando descuentos de un punto por punto porcentual a partir del 1% de granos con *Fusarium* con una tolerancia máxima del 3% de granos con *Fusarium* para la exportación, según condición de recibo de trigo para la zafra 17/18 (Criterios específicos de recibo de una empresa exportadora de granos). Dentro de las normas de comercialización de granos del MGAP en el caso de trigo *Fusarium* se encuentra incluido dentro del ítem otros daños, tomando como base de comercialización el grado 2 en este caso la tolerancia máxima es de un 2%. Granos con niveles por encima de ese límite además podrían presentar problemas de calidad comercial e industrial, e inocuidad por el riesgo de presencia de micotoxinas (MSP, 1998).

En general, el valor promedio de porcentaje de granos con *Fusarium* obtenido en todos los cultivares de trigo y ambientes evaluados en este trabajo superó el valor promedio registrado en el relevamiento nacional de la zafra 2013-2014 durante la cual se llevó a cabo este trabajo, y correspondió a 1.51% (Bogliaccini et al., 2013). Tombetta et al. (1994) informaron que tanto el peso hectolítrico como el peso de 1000 granos disminuyeron en forma progresiva con el incremento del porcentaje de granos dañados por *Fusarium*. En este sentido en Uruguay, Vázquez (2002) halló que el peso hectolítrico fue mayor en muestras libres de granos fusariosos de trigo, mínimamente en 3 unidades (kg hl⁻¹), y que el daño de *Fusarium* no afecta la cantidad, pero sí la funcionalidad de las proteínas.

A medida que aumenta la infección de FE disminuye notoriamente el peso hectolitrico en trigo (Polidoro et al., 2004) con una correlación de $r: -0.95$ (Vázquez, 2012). Las lluvias tardías también pueden contribuir al descenso del peso hectolitrico provocando que el grano maduro se humedezca y se seque.

En los cultivares de cebada en general, y particularmente en los evaluados en este caso de estudio, el rango de comportamiento frente a FE fue estrecho (susceptibilidad intermedia-alta a alta; Castro et al., 2013). Esto no permitió evidenciar contrastes en los niveles de severidad de FE a campo y en grano cosechado asociado estrictamente a la resistencia genética de los cultivares tampoco inferir en datos acerca de respuesta a fotoperiodo (Gear

2005, Whitechurch et al. 2007).

La diferencia en los niveles de FE registrados a campo y en postcosecha podrían estar relacionados principalmente a las características agronómicas de cada cultivar, como ciclo (asociadas a condiciones climáticas) y en particular por el vuelco registrado en Musa 936.

Una de las diferencias de la cebada con respecto al trigo es que la flor permanece cerrada durante la fecundación, mecanismo más conocido como cleistogamia (Frankel y Galun, 1977). Este aspecto determina que en el caso de cebada el periodo más susceptible sea espigazón (Z 55). En los dos ambientes estudiados, se registraron condiciones predisponentes para la infección entorno a la espigazón de los cultivares (Pereyra, 2003).

Una de las características de los cultivares de cebada evaluados fue la diferencia en el largo de ciclo, en tanto que cultivares de ciclo más corto (Castro et al., 2014) como Musa 936 y Conchita presentaron menores porcentajes de granos con *Fusarium* luego de la cosecha con respecto a los ciclos más largos (INIA Ceibo e INIA Arrayán). Los cultivares de ciclo más corto estuvieron menos expuestos a eventos de lluvias ocurridas durante este periodo de tiempo.

Las escasas diferencias entre cultivares en cuanto a la resistencia genética frente a FE y las condiciones predisponentes durante el llenado de grano, implicó que estas últimas tuvieran mayor incidencia en la infección y desarrollo de FE., el largo del período de llenado de grano afecta el nivel de infección en caso de que ocurran condiciones favorables (Miedaner, 1997).

Birzele et al. (2002) han mencionado que los eventos de lluvias, más que el volumen de agua, son una de las principales determinantes de la ocurrencia y desarrollo de la FE. En este sentido en los tres ambientes (LE1, LE2 y Young) se registraron más eventos de lluvias sobre el periodo de llenado de grano, lo que serían determinantes al igual que las temperaturas que se registraron en esos momentos para la infección y posterior colonización del patógeno.

La estimación del riesgo, así como los modelos de pronóstico de ocurrencia de FE, generalmente se basan en las condiciones climáticas en torno a la floración y hasta el estadio de grano lechoso (Z80-85, Doohan et al., 2003). En este sentido Hooker et al. (2002) para desarrollar el modelo de predicción de riesgo de DON en grano (DONCAST) se basaron en variables favorables para la producción de DON como número de días con lluvias mayores a 5 mm y a 3 mm, temperaturas comprendidas en un rango de 12 a 32°C, y humedad relativa superior al 75%. Para el ajuste de este modelo para

las condiciones de Uruguay, Schaafsma et al. (2006) incluyeron el dato humedad relativa de al menos 75% previo a las 11 horas, como efecto negativo los días en los cuales la temperatura máxima diaria supera los 32°C y la mínima no alcanza a 10°C para elaborar un modelo de predicción de DON.

Algo a destacar en este modelo de predicción (Schaafsma et al., 2006) es que se basa en condiciones climáticas entorno a la espigazón y 10 días posteriores a la misma, con lo cual faltaría adaptar a este modelo las condiciones climáticas que abarque mayor periodo durante el llenado de grano. Si bien se hace énfasis en las condiciones de temperatura y humedad relativa, presión atmosférica, luz UV, radiación solar y la lluvia que prevalecen en la etapa de floración del cultivo de trigo y espigazón en cebada (Ireta y Gilchrist 1994, Gilbert y Tekauz 2000, Hooker et al. 2002, De Wolf et al. 2003, Champell et al. 2004, Brennan et al. 2005) en este trabajo, se demostró que las condiciones climáticas favorables asociadas a estados posteriores como llenado de grano hasta madurez fisiológica pueden ser predisponentes a infecciones tardías.

Carmona y Reis (2013) han asociado periodos largos de lluvias desde antesis hasta pasta blanda (grano pastoso; Z71-79) con la ocurrencia de FE, tal como se registró en los tres ambientes donde se evaluaron a los diferentes cultivares de trigo y cebada. El proceso de infección es más crítico durante la primera mitad del periodo de llenado de grano y disminuye después de la etapa de grano pastoso.

6. CONCLUSIONES

El factor más importante para el desarrollo de FE en trigo y cebada son las condiciones climáticas predisponentes a las que se expongan durante el periodo de antesis en trigo y espigazón en cebada hasta llenado de grano, principalmente durante las primeras etapas del llenado de grano tanto para trigo como para cebada. En caso de que el cultivar sea susceptible a FE se verá aún más afectado.

Si bien el estado fenológico más vulnerable a FE en trigo es floración (antesis), en este trabajo se observó que condiciones favorables para FE en etapas posteriores pueden producir infección ocasionando granos de tamaños normales pero contaminados. Es conocido que cuanto más temprana la infección en el desarrollo del grano, mayor será el efecto de la FE.

Cuando se analizaron los cultivares de ciclo largo (Génesis 2346 y Génesis 2359) cuyos ciclos y susceptibilidad frente a FE son similares, no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los ambientes en los que fueron evaluados. Las condiciones climáticas ocurridas en cada uno de los ambientes encontraron a los cultivares atravesando fases fenológicas similares.

En cambio, para los cultivares de ciclo intermedio existieron diferencias notorias. Primeramente, porque la duración de cada uno de los estadios fenológicos evaluados difirió entre cultivares para un mismo ambiente. Esto asociado a las condiciones ambientales y a que no todos presentan similar respuesta frente a FE, determinó que algunos cultivares fueran más afectados por la enfermedad que otros. A modo de ejemplo, el cultivar moderadamente resistente a FE Génesis 2375, fue el que presentó el mejor comportamiento frente a FE a nivel de la espiga. En la localidad de Young ocurrieron condiciones predisponentes para FE que determinaron un mayor porcentaje de espiguillas afectadas en todos los cultivares.

En el caso de cebada, los resultados fueron similares a los de trigo de ciclo intermedio, ya que la duración de cada una de las fases de los cultivares seleccionados no fue la misma en un mismo ambiente, por lo tanto, algunos cultivares se vieron afectados por variables climáticas predisponentes para el desarrollo de FE. Quedó demostrado que las condiciones ambientales hacia el Norte del país fueron más propicias para la ocurrencia de FE que en el Sur.

Es claro que en todos los casos la influencia del ambiente, el momento del ciclo en el que se encuentre el cultivo y el genotipo seleccionado son algunas de las variables más importantes para establecer el mayor o menor

nivel de infección de FE.

En tanto no es posible incidir sobre el ambiente, los programas de mejoramiento genético priorizan entre otros caracteres, el desarrollo de cultivares con el mayor nivel de resistencia genética posible frente a FE. Por la naturaleza de la base de la resistencia genética a FE (multigénica y aditiva) no es posible contar con cultivares inmunes. Ello implica que al momento de seleccionar un cultivar se prioricen aquellos de comportamiento moderadamente resistentes y evitar el uso de cultivares susceptibles o moderadamente susceptibles. Se debe estar atento a las condiciones ocurridas o previstas los estadios fenológicos más predisponentes para evaluar la necesidad de la aplicación de fungicidas. En este sentido es importante que se siga ampliando la información para la calibración y validación de modelos de predicción para FE en Uruguay.

En futuros trabajos en el área del presente estudio se sugiere incrementar el número de bloques en los experimentos de campo, principalmente en trigo para minimizar el efecto de la variabilidad.

En algunos casos se evidenció que la retención de anteras en algunos cultivares puede estar asociada al nivel de FE. Se aconseja continuar con esta caracterización en forma más detallada y en un mayor número de localidades para ampliar la base de datos.

7. RESUMEN

La fusariosis de la espiga (FE), causada por especies del género *Fusarium*, es una enfermedad que periódicamente puede afectar a los cultivares de trigo y cebada cuando ocurren condiciones climáticas favorables durante espigazón, anthesis y llenado de grano. Puede producir pérdidas económicas importantes, no solo por mermas en el rendimiento de grano, sino además por afectar la calidad del grano debido a las toxinas producidas por los hongos que la causan. Entre ellas se destacan deoxinivalenol (DON) y zearalenona (ZEA), las cuales son nocivas para la salud. No existe ninguna práctica de manejo por sí sola que sea capaz de lograr un control eficiente de la FE, por lo tanto, para minimizar el efecto de FE es importante adoptar un conjunto de distintas prácticas de manejo. En el país, desde 1977 se viene investigando en distintas medidas incluyendo resistencia genética en cultivares, control químico y prácticas culturales, así como herramientas de predicción de FE, ya que FE es una buena candidata a ser modelada para predecir su riesgo debido a la ventana de susceptibilidad de los cultivos y a que se encuentra asociada estrechamente a factores climáticos. Con el objetivo de generar información para la elaboración de un modelo asociado a las condiciones de Uruguay durante el año 2013, fueron evaluadas en ensayos parcelarios de campo en dos localidades del litoral Oeste (La Estanzuela y Young) seis cultivares de trigo (cuatro de ciclo intermedio y dos de ciclo largo) y cuatro cultivares de cebada desde etapas previas a espigazón-anthesis. Se planteó la necesidad de asociar los estados fenológicos a las condiciones climáticas, en especial las variables vinculadas a la infección de FE como lluvias, humedad relativa, temperaturas mínimas, medias y máximas. Para ello desde la espigazón en trigo y aparición de aristas en cebada se fueron marcando en los tallos principales y en los surcos centrales de cada parcela experimental los distintos estados fenológicos identificándolos con cintas de diferentes colores y anotando la fecha de aparición. Se determinó incidencia de FE como porcentaje de espiguillas afectadas desde grano lechoso hasta lechoso pasta y luego de la cosecha se midió el porcentaje de severidad como porcentaje de granos con *Fusarium* del total de granos cosechados. El trabajo permitió generar información sobre los cultivares seleccionados y los ambientes donde fueron evaluados, además se pudo constatar que condiciones ambientales favorables durante el llenado de grano hasta madurez fisiológica pueden generar enfermedades tardías comprometiendo el rinde y la calidad de los cultivos, ocasionando pérdidas económicas comprometiendo el recibo en molinos y acopios.

Palabras clave: Cultivares; Trigo; Cebada; Fusariosis de la espiga.

8. SUMMARY

Fusarium head blight (FHB) caused by species of the genus *Fusarium* is a disease that can periodically affect wheat and barley when favorable climatic conditions occur during heading, anthesis and grain filling. It can produce important economic losses, not only by decreases in grain yield, but also by affecting the quality and safety of the grain due to the toxins produced by the fungus that cause it. These include deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZEA), which are harmful to health. There is not a single management practice that is able to achieve efficient control of FHB by itself. Therefore, in order to minimize the effect of FE it is important to adopt a set of different management practices. In Uruguay, since 1977 several management tools have been investigated including cultivars genetic resistance, chemical control and cultural practices, as well as FHB prediction tools, FHB is a good candidate to be modeled to predict its risk due to the window of susceptibility of the crops since it is closely associated with climatic factors. With the objective of providing information to adjust a prediction FE model for Uruguayan conditions, in 2013 six wheat cultivars (four of intermediate growing cycles and two of long growing cycle) and four barley cultivars were evaluated in field trials in two locations (La Estanzuela and Young), from stages previous to spike-anthesis and in the first stages of grains filling. Firstly, it was necessary to associate the different phenological stages with the climatic conditions, especially those variables related to FE infection such as rainfall, relative humidity, minimum, average and maximum temperatures. In order to attain this, the different phenological stages were marked on the main stems and in the central furrows from the first stages of grain filling, by identifying them with duct tape of different colors and registering the date of occurrence. The incidence of FHB was determined as a percentage of affected spikelets from milky to milky-dough grain stages. After harvesting, the percentage of severity was measured as a percentage of grains with *Fusarium* of the total harvested grains. This study rendered useful information about the selected cultivars and the environments where they were evaluated. It was also found that favorable environmental conditions during grain filling to physiological maturity stage may cause late disease infection, compromising grain yield and quality in both crops. This may cause, causing economic losses since they might be rejected by mills and elevators.

Key words: Cultivars; Wheat; Barley; Spike fusariosis.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Alberione, E.; Ortega, M.; Salines, N.; Astoreca, A.; Alconada, T. 2015. Comportamiento genético de diversos genotipos de trigo frente a *Fusarium graminearum*. *Agrociencia*. 50 (3):335-346.
2. Alconada, T.; Chulze, S. 2013. *Fusarium* head blight in Latin America. La Plata, Springer. 304 p.
3. Andersen, A. L. 1948. The development of *Gibberella zeae* headblight of wheat. *Phytopathology*. 38:595-611.
4. Arbelbide, M. 1999. Caracterización fenológica de cultivares y líneas de cebada cervecera. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 95 p.
5. Arbeletche, P.; Gutiérrez, G. 2003. Situación actual y perspectivas del mercado local y regional de harinas de trigo implicancias para el programa de mejoramiento genético del INIA. Montevideo, INIA. 50 p. (FPTA no. 10).
6. Arias, G. 1991. Calidad industrial de cebada cervecera. Montevideo, INIA. 55 p. (Serie Técnica no. 18).
7. Arrúa, A.; Moura, J.; Cazal, C.; Dujak, C.; Fernández, D.; Oviedo, R.; Kohli, M. 2014. Incidencia de hongos del complejo *Fusarium graminearum* y acumulación de deoxinivalenol en líneas de trigo. (en línea). *Investigación Agropecuaria*. 16(1):43-48. Consultado 05 mar. 2017 Disponible en http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2305-06832014000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
8. Avellaneda, J; Ayrala, D; Cadenazzi, M; Cea, J; Fagundez, P; Godiño, M; Moriyama, C; Rovetta, N; Suburú; G; Tihista, H; Ureta, A; Vázquez, D. 2018. Informe de calidad e inocuidad de trigo uruguayo. Zafra 2018/2019. (en línea). Montevideo, Uruguay, Mesa Nacional del Trigo. 16 p. Consultado 14 mar. 2019 Disponible en <http://www.inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20La%20Estanzuela/Mesa%20de%20Trigo/Caracterizaci%C3%B3n%20de%20calidad%20de%20trigo%20de%20la%20zafra%2017%2018.pdf>

9. Bentancur, M.; Gonnet, S. 2004. Método para medir actividad proteolítica de *Fusarium* sp. en harinas de trigo. *Agrociencia* (Uruguay). 8(2):39-44.
10. Berger, A.; Díaz, M.; Castro, M. 2011. Predicción del momento de espigazón: una herramienta para planificar las siembras y diversificar el riesgo de ocurrencia de la fusariosis de la espiga. (en línea). *Revista INIA*. no. 25:16-19. Consultado 22 ene. 2014. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4835/1/revista-INIA-25.pdf>
11. Boerger, A. 1928. Observaciones sobre agricultura: quince años de trabajos fitotécnicos en Uruguay. Montevideo, Imprenta Nacional. 580 p.
12. Bottalico, A; Perrone, G. 2012. Toxigenic *Fusarium* species and Mycotoxins Associated with Head Blight in Small-Grain Cereals in Europe. (en línea) *European Journal of Plant Pathology*. 108 (7): 611-624. Consultado 6 jun. 2015 Disponible en <https://doi.org/10.1023/A:102063521>
13. Burrows, M.; Grey, W.; Dyer, A. 2012. *Fusarium* Head Blight (scab) of Wheat and Barley. (en línea). Montana, USA, Montana State University Extension. 4 p. Consultado 22 oct. 2016 Disponible en <http://store.msuextension.org/publications/agandnaturalresources/mt200806ag.pdf>
14. Carmona, M.; Reis, E. 2002. Fusariosis del trigo: biología, epidemiología y estrategias para su manejo. Buenos Aires, Argentina, BASF. 57 p.
15. _____; _____. 2013. Integrated Disease Management of *Fusarium* Head Blight. (en línea). In: Magliano, T. M. A.; Chulze, S. N. eds. *Fusarium* Head Blight in Latin America. Dordrecht, Springer. pp. 159-173. Consultado 10 ene. 2017 Disponible en <https://www.springer.com/gp/book/9789400770904>
16. Carrasco, N.; Báez, A.; Belmonte, M. 2005. Trigo: manual de campo. Buenos Aires, INTA. 82 p.
17. Castañares, E. 2016. Variabilidad genética de *Fusarium graminearum*,

potencial producción de toxinas y sus implicancias en la calidad de los granos de cebada. Tesis doctoral Lic. Ciencias Biológicas. La Plata, Argentina. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Exactas. 229 p.

18. Castañeda, M.; López, C.; Molina, J.; Colinas, T.; Livera, A. 2004. Crecimiento y desarrollo de cebada y trigo. *Revista Fitotecnia (México)*. 27 (2):167-175.
19. Castillo, G.; Santibañez, F. 1987. Efecto de la temperatura sobre la fenología del trigo (cultivar Aurifen). *Agricultura Técnica (Chile)*. 47 (1):29-34.
20. De Wolf, E.; Madden, L.; Lipps, P. 2003. Risk assessment models for wheat *Fusarium* head blight epidemics based on within-season weather data. (en línea). *Phytopathology*. 93 (4):428-435. Consultado 29 set. 2016. Disponible en <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PHTO.2003.93.4.428>
21. Del Ponte, E.; Fernandes, J.; Pierobom, C.; Bergstrom, G. 2004. Giberela do trigo: aspectos epidemiológicos e modelos de previsão. (en línea). *Fitopatologia Brasileira*. 29:587-605. Consultado 23 set. 2015. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-41582005000600011>
22. _____.; _____.; Pavan, W. 2005. A risk infection simulation model for *Fusarium* head blight of wheat. (en línea). *Fitopatologia Brasileira*. 30 (6):634-642. Consultado 14 may. 2018 Disponible en <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-41582005000600011>
23. _____.; _____.; Bergstrom, G. 2007. Influence of growth stage on *Fusarium* head blight and deoxynivalenol production in wheat. (en línea). *Journal of Phytopathology*. 155 (10):577-581. Consultado 27 ene. 2014 Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1439-0434.2007.01281.x>
24. Díaz, M.; Pereyra, S.; Stewart, S. 2003. Un riesgo que se puede minimizar. (en línea). *El País Agropecuario*. no. 9:25-28. Consultado 29 set. 2017 Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8239/1/Las-Toxinas-del-Trigo-Un-riesgo-que-se-puede-minimizar.pdf>

25. _____.; _____. 2011. Fusariosis de la espiga de trigo y cebada. *In*: Pereyra, S.; Díaz de Ackermann, M; Germán, S.; Cabrera, K. eds. Manejo de enfermedades en trigo y cebada. Montevideo, INIA. pp. 111-128 (Serie Técnica no. 189).
26. Díaz, J.; Germán, S.; Pereira, S.; Vázquez, D. 2007. Cebada CLE 233 – INIA ARRAYÁN un ciclo largo con alta respuesta al fotoperiodo y buen tamaño de grano. (en línea). Revista INIA. no.10:24-25. Consultado 26 jun. 2014. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4820/1/Revista-INIA-10.pdf>
27. Dill-Macky, R. 1997. *Fusarium* head blight: recent epidemics and research efforts in the upper Midwest of the United States. *In*: Dublin, J. H.; Gilchrist, L.; Reeves, J.; McNab, A. eds. *Fusarium* head scab: global status and future prospects. México, D. F., CIMMYT. pp. 1-6.
28. _____.; Jones, R. 2000. The effect of previous crop residues and tillage on *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Disease*. 84:71-76.
29. FAO (Food and Agricultural Organization, IT). 2017. Situación alimentaria mundial. (en línea). Roma. 43 p. Consultado 10 jun. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
30. Fernandes, J.; Pavan, W. 2010. Sistemas de predicción para enfermedades en cereales de invierno: fusariosis y brusone. *In*: Seminario de Actualización Manejo de Enfermedades en Trigo y Cebada (2010, La Estanzuela, Colonia). Montevideo, INIA. pp. 31-32 (Actividades de Difusión no. 618).
31. Fernando, W.; Paulitz, T.; Seaman, W.; Dutilleul, P.; Miller, J. 1997. Head Blight Gradients Caused by *Gibberella zeae* from Area Sources of Inoculum in Wheat Field Plots. (en línea). *Epidemiology*. 87 (4):414-421. Consultado 23 nov. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.4.414>
32. Flores-López, H.; Ireta-Moreno, J.; Ruíz-Corral, J. 2007. Factores meteorológicos asociados al tizón de la espiga (*Fusarium graminearum* Schwabe) en trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología* (México). 25(2):102-108.
33. Frankel, R.; Galun, E. 1977. Pollination mechanisms, reproduction, and

plant breeding. (en línea). New York, USA Springer. 284 p. (Monographs on Theoretical and Applied Genetics no. 2). Consultado 22 feb. 2014 Disponible en doi: 10.1007/978-3-642-81059-6

34. Fraschina, J. 2012. Ecofisiología de la producción de trigo. (en línea). In: Reunión Internacional del Riego (3ª., 2012, Manfredi, Córdoba). Rendimientos potenciales con uso eficiente de agua e insumos. Manfredi, INTA. s.p. Consultado 22 nov. 2018 Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_ecofisiologa_de_la_produccion_de_trigo_-_fraschi.pdf
35. Galich, M. 1997. *Fusarium* Head blight in Argentina. In: Dubin, H.; Gilchrist, L.; Reeves, J.; McNab, A. eds. *Fusarium* head scab: global status and future prospects. México, D. F., CIMMYT. pp. 19-28.
36. García, G. 2012. Desarrollo fenológico en trigo y cebada: principales etapas y generación de hojas, espiguillas y flores. (en línea). In: Curso Internacional - Red (2012, Paysandú, UY). Ecofisiología de cereales de invierno. Paysandú, Uruguay. Metrice-Conicet. s.p. Consultado 12 mar. 2014. Disponible en http://www.metrice.udl.cat/es/misc/curso_paysandu/2.%20Ciclo%20ontog%E9nico%20G%20Garcia.pdf
37. Gear, N. 2005. Evaluación de la respuesta al fotoperiodo en cultivares de cebada cervecera. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. Universidad Católica Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias. 82 p.
38. Germán, S.; Pereyra, S.; Díaz, M. 2009. Consideraciones sobre enfermedades de cultivos de secano en la coyuntura agropecuaria actual. (en línea). Revista INIA. no. 17:63-67. Consultado 03 jun. 2016. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429110510113545.pdf>
39. González, F. 2009. Uso del código decimal para describir el ciclo de cultivo de trigo. (en línea). Pergamino, INTA. 3 p. Consultado 8 nov. 2016. Disponible en <http://www.fertilizando.com/articulos/UsoCodigoDecimalParaDescribirCicloTrigo.pdf>

40. Graham, S.; Browne, R. 2009. Anther Extrusion and *Fusarium* Head Blight Resistance in European Wheat. (en línea). Journal of Phytopathology. 157(9):580-582. Consultado 21 mar. 2018 Disponible en doi: 10.1111/j.1439-0434.2008.01524. x.
41. He, X.; Singh, P.; Duveiller, E.; Dreisigacker, S.; Singh, R. 2013. Development and characterization of Improvement Center (CIMMYT) Germplasm for *Fusarium* Head Blight Resistance. (en línea). In: Magliano, T. M. A.; Chulze, S. N. eds. *Fusarium* Head Blight in Latin America. Dordrecht, Springer. pp. 241-262. Consultado 10 ene. 2017 Disponible en https://www.researchgate.net/publication/256548692_Development_and_Characterization_of_International_Maize_and_Wheat_Improvement_Center_CIMMYT_Germplasm_for_Fusarium_Head_Blight_Resistance
42. Hoffman, E.; Ernst, O.; Benitez, A.; Borghi, E. 2003. Fecha de floración: efecto de la elección de variedades y su época de siembra. Cangüé.no. 24:20-22.
43. _____.; Mesa, P.; Cadenazzi, M.; Díaz, J. 2007. Caracterización de cultivares de cebada. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. 24 p.
44. _____.; Baeten, A. 2009. Caracterización de cultivares de cebada. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. 20 p.
45. _____.; _____.; Fajardo, M. 2010. Caracterización de cultivares de cebada. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. 21 p.
46. _____.; Castro, A. 2012a. Cambios en la fecha de siembra de los cultivos de invierno en Uruguay: implicancias sobre el rendimiento y el riesgo. (en línea). Cangüé. no. 32:16-21. Consultado 10 may. 2014. Disponible en http://www.eemac.edu.uy/cangue/joomdocs/cangue032_hoffman.pdf
47. _____. 2012b. Caracterización de cultivares de cebada. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. 25 p.
48. _____.; _____.; Morel, W. 2012c. Caracterización de cultivares de cebada. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. 23 p.

49. Igartua, E.; Cuesta, A.; Lasa, J.; Gracia, M.; Yahiaoui, S.; Moralejo, M.; Molina-Cano, J.; Ciudad, F.; Casas, A. 2008. Fenología y adaptación de la cebada. La adaptación al ambiente y los estreses abióticos en la mejora vegetal. Sevilla, s.e. 161 p.
50. INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). 2013a. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de cebada cervecera. Montevideo. 61 p.
51. _____. 2013b. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de trigo: calidad industrial. Montevideo. 58 p.
52. _____. 2013c. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de trigo ciclo intermedio. Montevideo. 52 p.
53. _____. 2013d. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de trigo ciclo intermedio. Montevideo 51 p.
54. _____. 2013e. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de trigo ciclo largo. Montevideo 34 p.
55. _____. 2013f. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de trigo, cebada y colza de los tres últimos años. Período 2010-2011-2012. Montevideo 93 p.
56. Ireta, M.; Gilchrist, L. 1994. Roña o tizón de la espiga de trigo. México, D. F., CIMMYT. 31 p.
57. Kang, Z.; Buchenauer, H. 2000. Cytology and ultrastructure of the infection of wheat spikes by *Fusarium culmorum*. (en línea). *Mycological Research*. 104 (9):1083-1093. Consultado 11 feb. 2015 Disponible en <https://doi.org/10.1017/S0953756200002495>
58. _____.; Cubilla, L. 2010. Guía para la producción de trigo. Asunción, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 40 p.
59. Leonard, K.; Bushnell, W. 2003. *Fusarium* head blight of wheat and barley. St. Paul, MN, The American Phytopathological Society. 534 p.
60. Liu, S; Zhang, X.; Pumphrey, M.; Stack, R.; Gill, B.; Anderson, J. 2006. Complex microcolinearity among wheat, rice, and barley revealed by fine mapping of the genomic region harboring a major QTL for

resistance to *Fusarium* head blight in wheat . (en línea). *Functional & Integrative Genomics*. 6 (2):83-89. Consultado 19 jul. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10142-005-0007-y>

61. Lu, Q.; Å bjørnstad, A.; Skinnes, H.; He, X.; Lillemo, M.; Shi, J. 2013. Anther extrusion and plant height are associated with Type I resistance to *Fusarium* head blight in bread wheat line 'Shanghai-3/Catbird'. (en línea). *Theoretical and Applied Genetics*. 126(2):317-334. Consultado 7 abr. 2018 Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00122-012-1981-9>
62. McMullen, M.; Bergstrom, G.; De Wolf, E.; Dill-Macky, R.; Hershman, D.; Shaner, G.; Van Sanford, D. 2012. A Unified effort to fight an enemy of wheat and barley: *Fusarium* head blight. (en línea). *Plant Disease*. 96 (12):1712-1728. Consultado 15 dic. 2016 Disponible en <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-03-12-0291-FE>
63. Malaissi, T. 2016. Fusariosis de la espiga de trigo: las malezas como fuente de inóculo. Tesis Ing Agr. La Plata, Argentina. Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 49 p.
64. Markell, S. G.; Francl, L. J. 2003. *Fusarium* head blight inoculum: Species prevalence and *Gibberella zeae* spore type. *Plant Disease*. 87:814-820.
65. Mazzilli, S.; Pérez, C.; Ernst, O. 2007. Fusariosis de la espiga en trigo: características de la enfermedad y posibilidades de uso de modelos de predicción para optimizar el control químico. *Agrociencia (Uruguay)*. 11(1):11-21.
66. _____.; _____.; _____. 2011. Una alternativa para optimizar el uso de fungicidas para controlar fusariosis de espiga en trigo. *Agrociencia (Uruguay)*. 15 (2):60-68.
67. Mesa Nacional de Trigo, UY. 2017. Comunicado a productores y técnicos. (en línea). Montevideo, Uruguay, Cámara Mercantil de Productos del Uruguay. 2 p. Consultado 21 may. 2018. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/noticias/mesa-nacional-trigo-advierte-productores-tecnicos-fusarium>

68. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Agropecuarias, UY). 2015. Anuario estadístico agropecuario 2015. Montevideo. 215 p.
69. _____. _____. 2016. Anuario estadístico agropecuario 2016. Montevideo. 198 p.
70. _____. _____. 2017. Anuario estadístico agropecuario 2017. Montevideo. 214 p.
71. _____. _____. 2018. Anuario estadístico agropecuario 2018. Montevideo. 211 p.
72. _____. _____. 2019. Anuario estadístico agropecuario 2019. Montevideo. 256 p.
73. _____. OPYPA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Oficina de Programación y Políticas Agropecuarias, UY). 2003. Fusariosis en granos y contaminación de cosecha: diseño de una estrategia para su prevención y control. (en línea). Anuario Estadístico OPYPA 2003: s.p. Consultado 30 set. 2016 Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/publicaciones/anuarios-opypa/2003>
74. Miedaner, T. 1997. Breeding wheat and rye for resistance to *Fusarium* disease. Plant Breeding. 116:201-220.
75. Miller, T. 1992. Estadios de crecimiento del cultivo de trigo. Texas, Texas A&M University. 4 p.
76. Miralles, D.; González, F.; Abeledo, L.; Serrago, R.; Alzueta, I.; García, G.; De San Caledonio, R.; Lo Valvo, P. eds. 2014. Manual de trigo y cebada para el cono Sur: procesos fisiológicos y bases de manejo. Buenos Aires, Argentina, Orientación Gráfica. 56 p.
77. Mirschel, W.; Wenkel, K.; Schultz, A.; Pommerening, J.; Verch, G. 2005. Dynamic phenological model for winter rye and winter barley. European Journal of Agronomy. 23:123-135.
78. Moschini, R.; Fortugno, C. 1996. Predicting wheat head blight incidence using models based on meteorological factors in Pergamino,

- Argentina. (en línea). *European Journal of Plant Pathology*. 102(3):211-218. Consultado 26 ene. 2017 Disponible en <https://doi.org/10.1007/BF01877959>
79. _____.; De Galich, M.; Annone, J.; Polidoro, O. 2003. Enfoque fundamental-empírico para estimar la evolución del índice de *Fusarium* en trigo. *RIA*. 31:39-53.
80. _____. 2011. Desarrollo y uso de sistemas de pronóstico de epidemias de la Fusariosis de la espiga de trigo (*Triticum aestivum* L.) para identificar situaciones sinópticas y predictores meteorológicos en diferentes escalas asociados a la enfermedad en la región pampeana. Tesis Doctoral. Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. 109 p.
81. _____.; Acuña, M.; Alberione, E.; Castellarín, J.; Ferraguti, F.; Lozza, H.; Martínez, M. 2016. Validación de sistemas de pronóstico del impacto de la fusariosis de la espiga en cultivares de trigo. *Meteorológica (Argentina)*. 41 (1):37-46.
82. MSP (Ministerio de Salud Pública, UY). 1998. Aprobación del reglamento técnico de identidad y calidad para trigo pan o trigo para panificación. Decreto 25/1998. (en línea). Montevideo, IMPO. s.p. Consultado 9 nov. 2019. Disponible en <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/25-1998>
83. _____. 2017. Reglamento bromatológico nacional, decreto 315/994. (en línea). Montevideo, IMPO. s.p. Consultado 10 nov. 2019. Disponible en <https://www.impo.com.uy/bases/decretos-reglamento/315-1994>
84. Nganje, W.; Kaitibie, S.; Wilson, W.; Leistritz, F.; Bangsund, D. 2004. Economic Impacts of *Fusarium* Head Blight in Wheat and Barley: 1993-2001. (en línea). Fargo, North Dakota State University. Department of Agribusiness and Applied Economics. 62 p. Consultado 26 ene. 2017 Disponible en <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/23627/1/aer538.pdf>
85. Nisi, J. 2003. Desarrollo de tecnologías para el manejo integrado de la fusariosis de la espiga de trigo. Marcos Juárez, Córdoba, Argentina, Fontagro. 85 p.

86. Pereyra, S.; Stewart, S.; Mieres, J. 2002. Fusariosis de la espiga en trigo y cebada. INIA. Hoja de divulgación no. 79. 4 p.
87. _____. 2003. Prácticas culturales para el manejo de la fusariosis de la espiga. *In*: Jornada Técnica de Cultivos de Invierno (2013, La Estanzuela, Colonia). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 1-9 (Actividades de Difusión no. 312).
88. _____.; Garmendia, G.; Cabrera, M.; Vero, S.; Pianzola, M.; Dill-Macky, R. 2005a. Control biológico de la fusariosis de la espiga de trigo y cebada. *Agrociencia* (Uruguay). 10 (1-2):337-343.
89. _____. 2005b. Uso de funguicidas en cebada. (en línea). *In*: Jornada Técnica de Cultivos de Invierno (2005, La Estanzuela, Colonia). Memorias. Montevideo, INIA. s.p. Consultado 11 dic. 2014. Disponible en http://www.inia.org.uy/estaciones/la_estanzuela/actividades/documentos/spereyra.pdf
90. _____.; Díaz de Ackermann, M.; Germán, S. 2007. Trigo y cebada: planifique el manejo sanitario antes de la siembra. (en línea). *Revista INIA*. no.10:19-23. Consultado 29 jun. 2016. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219230807172651.pdf>
91. _____.; Dill-Macky, R. 2008. Colonization of the Residues of Diverse Plant Species by *Gibberella zeae* and Their Contribution to *Fusarium* Head Blight Inoculum. (en línea). *Plant Disease*. 92 (5): 800-807. Consultado 22 dic. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.1094/PDIS-92-5-0800>
92. _____.; _____. 2010. *Fusarium* Species Recovered from Wheat and Barley Grains in Uruguay, Pathogenicity and Deoxynivalenol Content. *Agrociencia* (Uruguay). 14 (2):33- 44.
93. _____.; Germán, S. 2012. Manejo de enfermedades en trigo y cebada en un contexto de márgenes reducidos. *In*: Jornada de Cultivos de Invierno (2012, Mercedes, Soriano). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 15-25 (Actividades de Difusión no. 677).
94. _____. 2013a. Herramientas disponibles para el manejo de dos enfermedades relevantes de la pasada zafra: fusariosis de la espiga en trigo y ramularia en cebada. *In*: Jornada Cultivos de

- Invierno (2013, Young, Uruguay). Herramientas para un manejo inteligente en trigos y cebadas. Montevideo, INIA. pp. 33-41 (Actividades de Difusión no. 720).
95. _____. 2013b. Uso de fungicidas en cereales de invierno. In: Curso Manejo de Enfermedades en Cereales de Invierno 5º. Año Carrera Grado Ingeniería Agronómica (2013, Paysandú). Textos. Paysandú, Facultad de Agronomía. EEMAC. s.p.
 96. _____.; Castro, M.; Germán, S.; Quincke, M.; Silva, P.; Vazquez, D.; Cal, A. 2014a. Avances en el manejo de la fusariosis de la espiga en trigo. (en línea). Revista INIA. no. 37:43-50. Consultado 26 ene. 2016. Disponible en http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/Revista%20INIA_37.pdf
 97. _____. 2014b. Criterios para el manejo de enfermedades en la nueva zafra. In: Jornada de Cultivos de Invierno (2014, Mercedes, Soriano). Uniendo capacidades para potenciar la sustentabilidad del negocio agrícola. Mercedes, FUCREA/INIA. s.p. Consultado 7 jun. 2016. Disponible en <http://www.inia.uy/estaciones-experimentales/direcciones-regionales/inia-la-estanzuela/jornada-de-cultivos-de-invierno-2014#>
 98. _____. 2015. Integrando las medidas disponibles para el control eficiente de la fusariosis de la espiga. In: Jornada Técnica de Cultivos de Invierno (2015, La Estanzuela, Colonia). Memorias. Montevideo, INIA. s.p.
 99. _____.; González, N.; Stanton, J.; Castro, M. 2016. Integrated management of *Fusarium* head blight in Uruguay. (en línea). In: International Seminar on *Fusarium* Head Blight (5th.), International Workshop on Wheat Blast (2nd., 2016, Florianopolis, Brazil). Proceedings. Santa Catarina, Brasil, Universidade de Passo Fundo. pp. 96-97. Consultado 21 ene. 2018. Disponible en <http://mosaico.upf.br/~events/scabandblastofwheat-book.pdf>
 100. Pérez, C. 2004. Manejo sanitario de cereales de invierno. Algunas consideraciones epidemiológicas frente a la próxima zafra. Cangüé. no. 25:34-38.
 101. _____.; Dill-Macky, R.; Kinkel, L. 2007. Management of soil microbial communities to enhance populations of *Fusarium graminearum*-

- antagonists in soil. (en línea). *Plant Pathology*. 302 (1-2):53-69. Consultado 21 nov 2014 Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9455-6>
102. _____.; _____.; _____. 2008. Incremento de poblaciones microbianas natives, antagónicas de *Fusarium graminearum*, mediante la incorporación de abonos verdes. *In*: Taller Uruguayo de Agentes Microbianos de Control Biológico (2º., 2008, La Estanzuela, Colonia). Presentaciones orales. Montevideo, INIA. pp. 13-14.
103. Pravia, M. 2004a. Caracterización de genotipos de cebada a resistencia a fusariosis de espiga. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 70 p.
104. _____.; Pereyra, S.; Germán, S. 2004b. Characterization of barley genotypes for resistance to *Fusarium* head blight in Uruguay. *In*: European Fusarium Seminar (8th., 2004, Orlando, Florida USA). Dissertations. Orlando, FL, USA, Michigan State University. pp. 152-153.
105. Presidencia de la República, UY. 2017. Uruguay exportó 162 millones de dólares por concepto de cebada, sector que aumentó su volumen cosechado. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 07 mar. 2017. Disponible en <https://presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/comportamiento-cebada-2016>
106. Quincke, M.; Núñez, A.; Sawchik, J. 2013. Lanzamiento zafra 2013 trigos génesis. (en línea). *In*: Expoactiva Nacional 2013 (2013, Mercedes). Diapositivas. Mercedes, Soriano, Uruguay, s.e. s.p. Consultado 12 nov. 2016. Disponible en <http://www.grupotrigo.com.uy/wp-content/uploads/2013/04/Expo-Activa-GT-2013-G2375-y-G2366-MQ.pdf>
107. Reis, E.; Carmona, M. 2013. Integrated Disease Management of *Fusarium* Head Blight. (en línea). *In*: Magliano, T. M. A.; Chulze, C. N. eds. *Fusarium* head blight in latin america. Dordrecht, Springer. pp.159-174. Consultado 10 ene. 2017 Disponible en https://www.researchgate.net/publication/286820881_Integrated_Disease_Management_of_Fusarium_Head_Blight
108. Romero, R.; Germán, S. 2004. Consideraciones sobre el clima y el

- desarrollo fenológico de la cebada cervecera. (en línea). Montevideo, INIA. 8 p. (Documentos online no. 21). Consultado 25 jul. 2014. Disponible en http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/ambiente/clima_fenol_cebada.pdf
109. Sarmiento, E.; Chicagui, J. 2015. Estado de la investigación a nivel mundial sobre la micotoxina deoxinivalenol (don) durante los últimos cinco años (2010-2015). Trabajo de grado para Tecnólogo en Saneamiento Ambiental. Bogotá, Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 97 p.
 110. Schroeder, H. W.; Christensen, J. J. 1963. Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology*. 53:831-838.
 111. Seminario Internacional sobre Estrategias y Metodologías Utilizadas en el Mejoramiento de Trigo: un Enfoque Multidisciplinario (2003, La Estanzuela, Colonia). 2003. Trabajos presentados. (en línea). La Estanzuela, Uruguay, CIMMYT/INIA. 410 p. Consultado 22 mar. 2018 Disponible en <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1255/76539.pdf?sequence=1>
 112. Slafer, G. A.; Miralles, D. J.; Savin, R.; Whitechurch, E. M.; González, F. G. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. *In*: Satorre, E. H.; Benech-Arnold R.; Slafer, G. A.; de la Fuente, E. B.; Miralles, D. J.; Otegui, M. E.; Savin, R. eds. Producción de granos: bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, Argentina, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. pp. 98-132.
 113. Spolti, P.; De Jorge, B.; Del Ponte, E. 2012. Sensitivity of *Fusarium graminearum* causing head blight of wheat in Brazil to tebuconazole and metconazole fungicides. (en línea). *Tropical Plant Pathology*. 37(6):419-423. Consultado 7 ene. 2016. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-56762012000600007
 114. Stack, R. 2000. Return of an Old Problem: *Fusarium* Head Blight of Small Grains. (en línea). *Plant Health Progress*. Jun.: s.p. Consultado 03 mar. 2017 Disponible en

<http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/HeadBlight.aspx>

115. Stewart, S.; Hugo, W.; Pereyra, S.; Vázquez, D. 2004. Relación entre *Fusarium* en grano y don. In: Jornada Técnica Cultivos de Invierno (2004, La Estanzuela, Colonia). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 19-24 (Actividades de Difusión no. 357).
116. Stone, P.; Savin, R.; Wardlaw, I.; Nicolas, M. 1995. The Influence of Recovery Temperature on the Effects of a Brief Heat Shock on Wheat. I. Grain Growth. *Australian Journal of Plant Physiology*. 22(6):945-954.
117. Strange, R. N.; Smith, H. 1971. A fungal growth stimulant in anthers which predisposes wheat to attack by *Fusarium graminearum*. *Physiological Plant Pathology*. 1:141-150.
118. _____; Majer, J. R.; Smith, H. 1974. The isolation and identification of choline and betaine as the two major components in anthers and wheat germ that stimulate *Fusarium graminearum* in vitro. *Physiological Plant Pathology*. 4:277-290.
119. Szabó-Hevér, A. 2013. Investigation of the molecular background of the *Fusarium* head blight resistance in frontana derived wheat mapping populations. Thesis PhD. Gödöllő, Hungary. Szent István University. 24 p.
120. Taller sobre la Fusariosis de la Espiga en America del Sur (1987, Encarnación, Paraguay). 1989. Trabajos presentados. México, D.F., CIMMYT. 144 p.
121. Tavella, T.; Gonnet, M.; Díaz, M. 1979. El golpe blanco del trigo. *Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Uruguay*. 2ª. época. 13:3-6.
122. Tekauz, A.; Mccallum, B.; Gilbert, J. 2000. *Fusarium* head blight of barley in western Canada. (en línea). *Canadian Journal of Plant Pathology*. 22 (1):9-16. Consultado 7 abr. 2014. Disponible en <https://doi.org/10.1080/07060660009501156>
123. Trail, F. 2009. For Blighted Waves of Grain: *Fusarium graminearum* in the Postgenomics Era. (en línea). *Plant Physiology* 149 (1):103-110. Consultado 8 ago. 2017. Disponible en

<https://doi.org/10.1104/pp.108.129684>

124. Umpiérrez, M. 2013a. Estrategias para la identificación y caracterización de patógenos causantes de fusariosis en trigo. Tesis de Maestría. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Química. 124 p.
125. _____.; Garmendia, G.; Pereyra, S., Rodriguez, A., Ward, T.; Vero, S. 2013b. Regional differences in species composition and toxigenic potential among *Fusarium* head blight isolates from Uruguay indicate a risk of nivalenol contamination in new wheat production areas. *International Journal of Food Microbiology*. 166:135-140.
126. Vázquez, D. 2009. Aptitud industrial del trigo. Montevideo, INIA. 54 p. (Serie Técnica no. 177).
127. Velázquez, D.; Formento, N. 2012. Efecto de la fusariosis de la espiga (*Fusarium graminearum* y *Fusarium* spp.) sobre dos genotipos de trigo. In: Jornadas Fitosanitarias Argentinas (14^{as.}, 2012, Potrero de Los Funes, San Luis). Trabajos presentados. San Luis, Argentina, INTA. s.p.
128. Velázquez, P.; Formento, A. 2011. Asociación entre fusariosis de la espiga (*Fusarium graminearum* y *Fusarium* spp.), genotipos de trigo y diferentes dosis de nitrógeno: campaña 2011. (en línea). Paraná, Entre Ríos, INTA. 8 p. Consultado 8 ene. 2017. Disponible en http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-asociacin_entre_fusariosis_de_espiga_genotipos_trigo.pdf
129. Villalba, J.; Olivet, J.; Cassanello, M.; Bentancur, O.; Cunha, J. 2011. Evaluación de la deposición de boquillas de aplicación para el control de fusariosis en trigo. (en línea). *Agrociencia* (Uruguay). 15 (2):69-75. Consultado 25 jun. 2015. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/agrociencia/index.php/directorio/article/view/87>
130. Wegulo, S.; Bockus, W; Hernandez, J; De Wolf, E; Eskridge, K; Peiris, K; Dowell, F. 2011. Effects of Integrating Cultivar Resistance and Fungicide Application on *Fusarium* Head Blight and Deoxynivalenol in Winter Wheat. (en línea). *Plant Disease*. 95 (5):554-560. Consultado 7 ene. 2014. Disponible en <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-10-0495>

131. Whitechurch, E.; Slafer, G.; Miralles, D. 2007. Variability in the duration of stem elongation in wheat and barley genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science* 193:138-145.
132. Windels, C. 2000. Economic and Social Impacts of *Fusarium* Head Blight: changing Farms and Rural Communities in the Northern Great Plains. (en línea). *Journal of Phytopathology*. 90 (1):17-21. Consultado 8 feb. 2015. Disponible en <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.1.17>
133. Zadocks, J. C.; Chang, T. T.; KONzac, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*. 14:415-421.
134. Zhang, L.; Luo, P.; Ren, Z.; Zhang, H. 2011. Controlling *Fusarium* head blight of wheat (*Triticum aestivum* L.) with genetics. (en línea). *Advances in Bioscience and Biotechnology*. 2:263-270. Consultado 22 dic. 2017. Disponible en <http://dx.doi.org/10.4236/abb.2011.24038>

10. ANEXOS

Diseños de bloques de trigos en localidad de Young/ La Estanzuela





Estación meteorológica Decagon ® instalada en La Estanzuela



Manejo de malezas, fertilidad e insecticidas realizados en La Estanzuela/ Young

	LE 1	LE 2	Young
Fecha de siembra CI	06/06/2013	27/06/2013	05/06/2013
Fecha de siembra CL	18/05/2013	18/06/2013	10/05/2013
Fecha de emergencia CI	16/06/2013	10/07/2013	15/06/2013
Fecha de emergencia CL	26/05/2013	29/06/2013	17/05/2013
Fertilización a la siembra CI	50 Kg de 18-46/46-0	50 Kg de 18-46/46-0	150 Kg DAP ha ⁻¹
Refertilización Z 22 CI	0		59Kg Urea ha ⁻¹
Refertilización Z 30 CI	0		50Kg Urea ha ⁻¹
Fertilización siembra CL	50 Kg de 18-46/46-0	50 Kg de 18-46/46-0	150 Kg 18-46/46-0 ha ⁻¹
Refertilización Z 22 CL	110 kg de Urea ha ⁻¹	0	120Kg Urea ha ⁻¹
Refertilización Z 30 CL	110 kg de Urea ha ⁻¹	0	50Kg de Urea ha ⁻¹
Control de malezas CI	<ul style="list-style-type: none"> 15/07 20g glean+ 600 cc de axial+150 cc de agral 90 	<ul style="list-style-type: none"> 10/08 20g glean+ 600 cc de axial+150 cc de agral 90 	Clorsufuron+ Piroxaden+ Cloquintocent-metil
Control de malezas CL	<ul style="list-style-type: none"> 08/07 20g glean+ 600 cc de axial+150 cc de agral 90 	<ul style="list-style-type: none"> 20/07 20g glean+ 600 cc de axial+150 cc de agral 90 	Clorsufuron+ Piroxaden+ Cloquintocent-metil
Insecticida CI	<ul style="list-style-type: none"> 30/09Pirimicarb + Triflumur 	<ul style="list-style-type: none"> 30/09Pirimicarb + Triflumuron 	Pirimicarb+ Triflumuron.

	<ul style="list-style-type: none"> • 18/10Pirimicarb + Triflumuron 	<ul style="list-style-type: none"> • 18/10Pirimicarb + Triflumuron 	
Insecticida CL	<ul style="list-style-type: none"> • 30/09Pirimicarb + Triflumuron • 18/10Pirimicarb + Triflumuron 	<ul style="list-style-type: none"> • 30/09Pirimicarb + Triflumuron • 18/10Pirimicarb + Triflumuron 	Pirimicarb+ Triflumuron
Fungicida	No	No	No

ANAVA

Trigo ciclo largo- campo

F de V	GL	SC	CM	F	Pr>F
Bloque (amb.)	3	3,06	1,02	0,23	0,87
Ambiente	2	50,60	25,30	5,66	0,095
Cultivares	1	1,03	1,03	0,23	0,66
Amb.*cult.	2	4,13	2,06	0,46	0,66
Error	3	13,39	4,46		

Significado de codigos: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Trigo ciclo largo- laboratorio

F de V	GL	SC	CM	F	Pr>F
Bloque (amb.)	3	3,36	1,12	0,09	0,96
Ambiente	2	2,21	1,10	0,09	0,920
Cultivares	1	5,07	5,07	0,40	0,574
Amb.*cult.	2	17,47	8,73	0,68	0,571
Error	3	38,53	12,84		

Significado de códigos: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '.' '1

Trigo ciclo intermedio- campo

F de V	GL	SC	CM	F	Pr>F
Bloque (amb.)	3	2,29	0,76	0,23	0,86
Ambiente	2	106,21	53,10	16,57	0,000961***
Cultivares	3	56,91	18,97	5,92	0,016*
Amb.*cult.	6	36,95	6,16	1,92	0,18
Error	9	28,84	3,2		

Significado de códigos: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '.' '1

Trigo ciclo intermedio- laboratorio

F de V	GL	SC	CM	F	Pr>F
Bloque (amb.)	3	17,60	5,86	1,62	0,25
Ambiente	2	0,30	0,15	0,04	0,95
Cultivares	3	61,13	20,37	5,64	0,018*
Amb.*cult.	6	95,62	15,93	4,41	0,023*
Error	9	32,51	3,61		

Significado de códigos:0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '.' '1

Cebada campo

F de V	GL	SC	CM	F	Pr>F
Bloque	4	5	1	0,69	0,6127
Ambiente	1	22	22	12	0,00447**
Cultivares	3	10	3	1,85	0,19
Amb.*cult.	3	8	3	2	0,25387
Error	12	21,85	1,82		

Significado de codigos: 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 . 0.1 ' ' 1

Cebada laboratorio

F de V	GL	SC	CM	F	Pr>F
Bloque (amb.)	4	26,66	6,66	1,67	0,21993
Ambiente	1	38,46	38,46	9,66	0,0090**
Cultivares	3	26,24	8,75	2,19	0,14
Amb.*cult.	3	31,60	10,53	2,64	0,09
Error	12	47,74	3,98		

Significado de códigos: 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 . 0.1 ' ' 1

Test de Tukey

Trigo ciclo largo-campo

Test de Tukey por cultivares

$\alpha = 0.05$

Variable dependiente: enfermedad

Coefficiente de variación: 39,36 %

Media	Cultivar	
5,66	Génesis 2359	a
5,07	Génesis 2346	a

Test de Tukey por ambiente

Media	Ambiente	
8,15	Y 1	a
4,7	LE 2	a
3,25	LE 1	a

Trigo ciclo largo-laboratorio

Test de Tukey por cultivares

$\alpha = 0.05$

Variable dependiente: enfermedad

Coefficiente de variación: 69,18 %

Media	Cultivar	
5,83	Génesis 2359	a
4,53	Génesis 2346	a

Test de Tukey por ambiente

Media	Ambiente	
5,71	LE 1	a
5,17	LE 2	a
4,66	Y	a

Trigo ciclo intermedio- campo

Test de Tukey por cultivares

$\alpha = 0.05$

Variable dependiente: enfermedad

Coficiente de variación: 59,75 %

Media	Cultivar	
4,76	INIA Don Alberto	a
3,83	Nogal	ab
2,74	Baguette Premium 11	ab
0,63	Génesis 2375	b

Test de Tukey por ambiente

Media	Ambiente	
5,94	Y 1	a
1,83	LE 1	b
1,2	LE 2	b

Trigo ciclo intermedio-laboratorio

Test de Tukey por cultivares

$\alpha = 0.05$

Variable dependiente: enfermedad

Coficiente de variación: 44,25 %

Media	Cultivar	
5,53	Baguette Premium 11	a
5,11	Nogal	a
4,98	INIA Don Alberto	a
1,55	Génesis 2375	b

Test de Tukey por ambiente

Media	Ambiente	
4,42	LE 2	a
4,3	Y	a
4,15	LE 1	a

Cebada-campo

Test de Tukey por cultivares

$\alpha = 0.05$

Variable dependiente: enfermedad

Coefficiente de variación: 96,31 %

Media	N	Cultivar	
2,37	6	INIA Ceibo	a
1,36	6	Conchita	a
1,31	6	Musa 936	a
0,54	6	INIA Arrayán	a

Test de Tukey por ambiente

Media	Ambiente	
2.36	Y 1	a
0.44	LE	b

Cebada-laboratorio

Media	N	Cultivar	
3,97	6	INIA Ceibo	a
2,46	6	INIA Arrayán	a
1,66	6	Conchita	a
1,23	6	Musa 936	a

Ambiente	
Y 1	a
LE	b

Interacciones ambiente
* cultivar

Variables	F de V	GL	SC	CM	F	Pr>F
Cebada campo	Amb.*cult.	3	8	3	2	0,25387
Cebada laboratorio	Amb.*cult.	3	31,60	10,53	2,64	0,09
Trigo ciclo intermedio campo	Amb.*cult.	6	36,95	6,16	1,92	0,18
Trigo ciclo intermedio laboratorio	Amb.*cult.	6	95,62	15,93	4,41	0,023*
Trigo ciclo largo campo	Amb.*cult.	2	4,13	2,06	0,46	0,66
Trigo ciclo largo laboratorio	Amb.*cult.	2	17,47	8,73	0,68	0,571

Significado de codigos: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*'
0.05 '.' 0.1 '' 1