

APORTES CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS DEL INIA A LAS **TRAYECTORIAS AGROECOLÓGICAS**

Editores: Georgina Paula García-Inza, José Paruelo y Roberto Zoppolo



Capítulo 3

Aportes al manejo agroecológico de enfermedades en trigo

Silvia Pereyra

1. Introducción

Durante los últimos años, los sistemas de producción agrícolas han estado sujetos a cambios significativos de intensificación y simplificación. Desde principios de los años 2000 se registró una sustitución relevante de un modelo mixto de rotaciones de cultivos agrícolas y pasturas de leguminosas y gramíneas por uno agrícola (Díaz *et al.*, 2004; Paruelo *et al.*, 2006). Este modelo se caracteriza por una menor diversificación en las secuencias de los cultivos y cultivares sembrados, un incremento en el uso de agroquímicos y la utilización generalizada de la siembra directa, entre otros aspectos. Estos factores han inducido cambios en la dinámica de las poblaciones de microorganismos benéficos y patógenos y en las problemáticas asociadas a estos últimos.

Específicamente, a lo anterior se suma que las características agroecológicas de producción de trigo en Uruguay determinan que las enfermedades representen limitantes importantes para el logro de rendimientos, calidad e inocuidad adecuados y estables a lo largo de los años. Las enfermedades constituyen, además, la principal causa de reemplazo de cultivares a nivel de producción (Pereyra *et al.*, 2011).

Los grupos de enfermedades más importantes, por su relevancia económica, son la fusariosis de la espiga (*Fusarium graminearum*, predominantemente), royas y manchas foliares. El complejo de manchas foliares incluye la mancha de la hoja o septoriosis (*Zymoseptoria tritici*), mancha amarilla (*Pyrenophora tritici-repentis*) y estría bacteriana (*Xanthomonas translucens* pv. *undulosa*). Entre las royas se destacan, por su relevan-

cia, la roya de la hoja (*Puccinia triticina*), roya del tallo (*P. graminis* f. sp. *tritici*) y roya amarilla (*P. striiformis* f. sp. *tritici*) (Pereyra *et al.*, 2011).

Las pérdidas estimadas de rendimiento de grano en Uruguay han sido de hasta el 54% para mancha de la hoja, el 84% para mancha amarilla, el 60% para roya de la hoja y el 30% para fusariosis de espiga (Pereyra *et al.*, 2011). A esto se deben agregar las pérdidas en la calidad del producto, por cuanto las enfermedades pueden afectar: a) la calidad física e industrial del grano (peso hectolítrico, niveles de proteína, enzimas líticas); b) la inocuidad del producto final (micotoxinas); y c) el valor de siembra de la semilla (germinación, vigor).

La información que compartimos en este trabajo incluye conocimientos y herramientas obtenidos por el INIA y, en parte, en colaboración con instituciones asociadas, en el marco de líneas de investigación orientadas a integrar medidas más sustentables y amigables para el manejo de enfermedades en trigo. En este contexto, los conocimientos aquí vertidos podrían asistir a transitar las primeras fases hacia una transformación agroecológica en sistemas de producción de los que el cultivo de trigo es parte: lograr una mayor eficiencia en el uso de insumos reduciendo los efectos negativos asociados a este, avanzar en la sustitución de insumos y prácticas convencionales por otras opciones agroecológicas y, eventualmente, contribuir al rediseño de agroecosistemas centrado en la prevención de las problemáticas sanitarias (Gliessman, 2016).

2. Situación y manejo actual de las enfermedades en trigo

La simplificación de los sistemas de producción agrícolas, sobre la base de los factores mencionados en el apartado anterior, ha llevado durante las últimas dos décadas a una mayor ocurrencia e intensidad de enfermedades en trigo tales como royas, manchas foliares (tanto fúngicas como bacterianas) y fusariosis de la espiga. A su vez, la demanda del sector productivo por cultivares de alto potencial, en este último período, conllevó el uso de genética no adaptada a las condiciones favorables a enfermedades en nuestro ambiente de producción. Adicionalmente, muchos de estos cultivares se siembran en grandes áreas de la misma región epidemiológica (Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay), contribuyendo así a una mayor homogeneidad regional del cultivo y en un área importante, donde puede multiplicarse inóculo. Lo anterior es especialmente relevante para promover epifitias de enfermedades causadas por esporas

que se trasladan a grandes distancias por las corrientes de aire, como el caso de las royas (Germán *et al.*, 2009).

A su vez, el uso generalizado de la siembra directa y la menor diversidad de especies vegetales en las secuencias (periodos reducidos de rotación) aseguran la presencia de rastrojo en la superficie del suelo. Este representa el principal reservorio de los patógenos que sobreviven y se multiplican en él como los causales de las manchas foliares y la fusariosis de la espiga (Stewart *et al.*, 2004; Pereyra y Dill-Macky, 2008; Pereyra y Díaz de Ackermann, 2009).

En la actualidad, el manejo de las enfermedades está fuertemente basado en el uso de fungicidas, a pesar de la adopción progresiva de otras medidas. El promedio de aplicaciones de fungicidas en trigo por ciclo de cultivo fluctúa de 1,5 a 1,8, llegando hasta dos a tres aplicaciones por ciclo en cultivares muy susceptibles en condiciones altamente favorables a enfermedades. El uso intensivo de fungicidas pertenecientes básicamente a tres grupos químicos (estrobilurinas, triazoles y carboxamidas) representa una amenaza para el surgimiento de cepas de hongos menos sensibles o resistentes a los mismos. Trabajos en este sentido han demostrado la presencia de aislados de *F. graminearum* menos sensibles a tebuconazol, fungicida muy utilizado (solo o en combinación) para el control de enfermedades foliares y fusariosis de la espiga durante los años 2000 (Umpiérrez-Failache *et al.*, 2013).

Por lo tanto, el mayor desafío en el manejo de las enfermedades en trigo es transitar de un enfoque curativo fuertemente basado en el uso de fungicidas, pasando por la integración de medidas, a otro preventivo menos dependiente del control químico y, eventualmente, a un manejo agroecológico. Estos sistemas utilizan el conocimiento generado sobre la biología de los patógenos, la epidemiología y las relaciones planta-patógeno-comunidad microbiana benéfica-ambiente, para integrar más eficientemente las medidas como el uso de variedades resistentes, prácticas culturales y métodos biológicos, de forma de minimizar el uso de fungicidas.

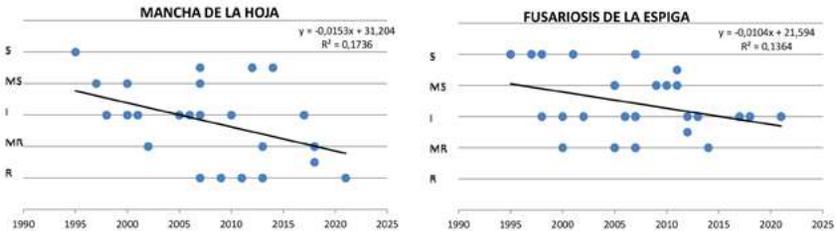
3. Opciones tecnológicas para el manejo de enfermedades en trigo

3.1. Uso de variedades con resistencia genética durable a enfermedades múltiples

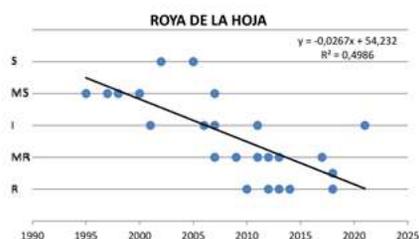
La resistencia genética constituye uno de los pilares básicos para el manejo de las enfermedades en cultivos y contribuye a la resiliencia estática en la salud vegetal. El uso de bases genéticas diversas de resistencia, de tipo cuantitativo más que de genes mayores –que son fácilmente vulnerados por patógenos de alta variabilidad– y durable, es un objetivo constante para el manejo sustentable de las enfermedades en trigo.

La selección de cultivares resistentes a las principales enfermedades en trigo en nuestras condiciones ha sido un objetivo relevante para el Programa de Mejoramiento Genético (PMGT) del INIA desde 1929, cuando ocurrió la primera gran epidemia de roya amarilla, o estriada. A medida que otras enfermedades causaron graves pérdidas económicas, se sumaron sucesivamente nuevos objetivos: resistencia a roya del tallo y roya de la hoja, desde los inicios del programa; mancha de la hoja, a partir de los años sesenta; fusariosis de la espiga, a partir de 1977; y mancha amarilla, a partir de los años noventa, acompañando la adopción de la siembra directa (Germán *et al.*, 2018). El resultado de este trabajo ha permitido avances sostenidos, combinando la resistencia a mancha de la hoja, roya de la hoja y fusariosis de la espiga (Figura 1).

FIGURA 1. PROGRESO GENÉTICO EN LA RESISTENCIA GENÉTICA FRENTE A LA ROYA DE LA HOJA (CAUSADA POR *PUCCINIA TRITICINA*), MANCHA DE LA HOJA (CAUSADA POR *ZYMOSEPTORIA TRITICI*) Y FUSARIOSIS DE LA ESPIGA (CAUSADA PRINCIPALMENTE POR *FUSARIUM GRAMINEARUM*), DE LAS VARIEDADES LIBERADAS POR EL PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL INIA DURANTE LOS ÚLTIMOS 25 AÑOS



(Continúa en página siguiente)



Referencias: R: resistente; MR: moderadamente resistente; MS: moderadamente susceptible; S: susceptible; I: MR MS.

Fuente: Modificado de Quincke et al. (2018).

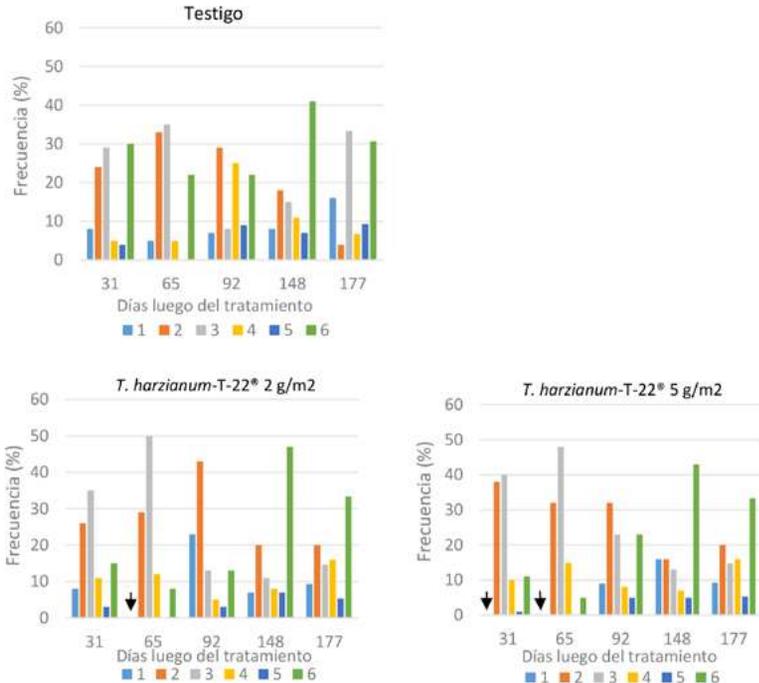
3.2. Uso de agentes microbianos para el control biológico: el caso de *Trichoderma*

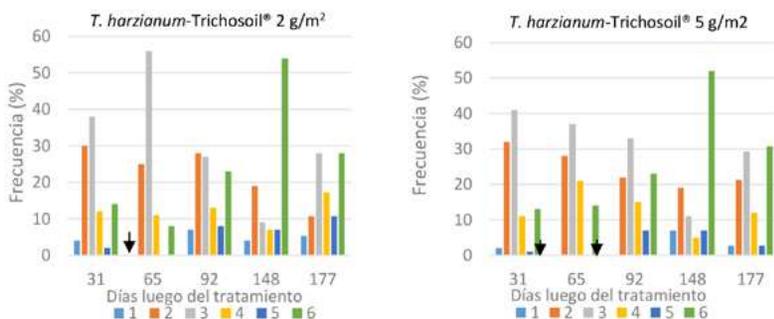
El control biológico constituye una opción complementaria para reducir la incidencia y la severidad de las enfermedades en cultivos, particularmente aquellas causadas por patógenos que sobreviven y se multiplican en el rastrojo de trigo y de otras especies hospedadoras. Esta práctica ha sido poco utilizada en sistemas de producción agrícolas por varios motivos, entre los que se incluyen eficiencia de control errática y muy dependiente de las condiciones ambientales, variabilidad en la interacción del agente de biocontrol con otros componentes de la comunidad microbiana (patógenos, benéficos) y en la expresión de los atributos que confieren el control (Hoitink y Boehm, 1999). Sin embargo, representa una herramienta capaz de reducir el uso de control químico y, así, su efecto negativo para la salud y el ambiente (Mondino *et al.*, 2014). Podría ser una herramienta alternativa para incorporar en el manejo agroecológico de enfermedades de cultivos agrícolas.

En el caso de la fusariosis de la espiga, enfermedad fundamentalmente monocíclica, el rastrojo infestado constituye además la principal fuente de inóculo. En las condiciones de Uruguay, *F. graminearum* (*Gibberella zeae*) es capaz de sobrevivir en diversos rastrojos, entre ellos los de trigo y de cebada por dos años y en rastrojo de maíz, hasta por tres años (Pereyra y Dill-Macky, 2008). Por lo tanto, el uso de antagonistas adaptados a las condiciones de campo que sean capaces de reducir el nivel de inóculo inicial en los rastrojos representa una herramienta útil en el manejo integrado de esta enfermedad. En el INIA, a partir de 2001 evaluamos el efecto de la aplicación de agentes microbianos como *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum*, disponibles comercialmente en ese momento en Estados Uni-

dos y Uruguay, en el biocontrol de la fusariosis de la espiga en el rastrojo de trigo (Pereyra *et al.*, 2005). Los resultados obtenidos indicaron la potencialidad de *Trichoderma* para la reducción de producción de peritecios y ascosporas (inóculo primario) en condiciones semicontroladas. A modo de ejemplo, los rastrojos inoculados con *T. harzianum* T-22® (2 y 5 g/m²) y *T. harzianum* Trichosoil® (5 g/m²) presentaron una significativamente ($p < 0.05$) menor producción de peritecios por mm² de rastrojo, a los tres meses de aplicar estos antagonistas. En este caso, la menor producción de peritecios de *G. zeae* estuvo en parte explicada por una ausencia de aquellos estados de madurez categoría 1 de la escala de Paulitz, que corresponde a inicios de peritecios (Figura 2). Sin embargo, esta respuesta solo pudo ser cuantificada en un periodo de tiempo muy concreto.

FIGURA 2. FRECUENCIAS (%) DE LOS ESTADOS DE MADUREZ DE LOS PERITECIOS DE *GIBERELLA ZEA* (*F. GRAMINEARUM*) PARA TRATAMIENTOS DE BIOCONTROL CON *TRICHODERMA HARZIANUM*-T22® Y *T. HARZIANUM*-TRICHOSOIL® Y PARA EL TESTIGO SIN TRATAR EN CINCO MOMENTOS DE MUESTREO (31, 65, 92, 148 Y 177 DÍAS LUEGO DEL TRATAMIENTO) SEGÚN LA ESCALA DE PAULITZ (BUJOLD *ET AL.*, 2001)





Referencias: 1: peritecios de color beige, inmaduros; 2: peritecios de color azul claro, inmaduros; 3: peritecios negro-azulados sin ascas ni ascosporas; 4: peritecios negro-azulados con ascas, pero sin ascosporas maduras; 5: peritecios negro-azulados con ascas y con ascosporas maduras; y 6: peritecios negro-azulados sin ascas o vacías o con ascosporas arrugadas o abultadas.

Fuente: Modificado de Pereyra et al., 2005.

Esta información preliminar sugirió la necesidad de contar con información de cepas de *Trichoderma* provenientes de rastrojo de trigo de nuestros sistemas de producción y de profundizar en el conocimiento del (o los) modo(s) de acción de estos agentes de control biológico, el momento óptimo para la aplicación de los mismos, los aspectos ecológicos del patógeno y de los antagonistas, la formulación más adecuada según la estrategia objetivo y la compatibilidad de la aplicación con otras prácticas de producción de los cultivos (Pereyra *et al.*, 2005; Cabrera *et al.*, 2020).

Trichoderma es un hongo cosmopolita, presente habitualmente en suelo y rastrojo, con gran capacidad de colonización y degradación de este último (Harper y Lynch, 1985), y, además, con potencial antagónico relevante frente a patógenos que residen en estos (Bruehl y Lai, 1966). Este género posee múltiples mecanismos de acción, entre los que se incluyen micoparasitismo, antibiosis, competencia por nutrientes y sitios, tolerancia al estrés, inducción de resistencia en plantas, inactivación de enzimas de patógenos, solubilización y secuestro de nutrientes inorgánicos, descomposición de rastrojos (Ghisalberty y Sivasithamparam, 1991; Tronsmo y Hjeljord, 1998). Ello lo posiciona como una excelente opción en cuanto agente microbiano para el control de enfermedades transmitidas por rastrojo.

Sobre la base de los resultados obtenidos, las características intrínsecas descritas de *Trichoderma* y la relevancia de obtener aislados del agente de biocontrol provenientes del ambiente del patosistema¹ en estudio, y la colaboración con el grupo de Microbiología de la Facultad de Química de la Universidad de la República (UDELAR, Montevideo), nos enfocamos en el aislamiento de cepas de *Trichoderma* spp. a partir de muestras de rastrojo de trigo provenientes de chacras del litoral oeste del país. Se caracterizaron 16 cepas de distintas especies de *Trichoderma* por su capacidad de producir diferentes enzimas líticas, compuestos antifúngicos, y por su habilidad para inhibir el crecimiento del patógeno en condiciones *in vitro*. De estas se seleccionaron cinco cepas que se caracterizaron en el INIA La Estanzuela por su capacidad de inhibir la producción de peritecios de *G. zae* sobre rastrojo de trigo. Todos los aislados redujeron significativamente la producción de peritecios sobre el rastrojo de trigo, hasta en el 85% en el caso de un aislado identificado como *T. atroviride*. Este presentó además mayor capacidad de producción de compuestos antifúngicos volátiles y solubles y de quitinasas. Adicionalmente, se destacó por la mayor producción de xilanasas, que favorecerían la degradación de xilanos del rastrojo, contribuyendo así a su degradación (Cabrera *et al.*, 2020).

Desde un enfoque ecológico, incluso cuando se realicen inoculaciones con cepas microbianas nativas del sitio donde se está utilizando (biocontrol inundativo), las poblaciones del agente inoculado se enfrentan a ambientes hostiles que naturalmente evitaron su presencia en altas densidades (Garret, 1970). En 2006 se iniciaron estudios con el objetivo de identificar el efecto de algunas medidas de manejo sobre las poblaciones nativas de *Trichoderma*, no solo con el fin de favorecer altas poblaciones indígenas ya presentes en suelo y rastrojo, sino también para promover ambientes que puedan capitalizar inoculaciones de cepas eficientes de *Trichoderma* (como las identificadas en estudios previos) para el biocontrol de los principales patógenos de cultivos extensivos, entre ellos, *Gibberella zae* (*F. graminearum*), *Bipolaris sorokiniana* y *Drechslera* spp. (Pérez y Villar, 2011; Pereyra *et al.*, 2012; Villar *et al.*, 2019).

¹ Patosistema: subsistema dentro del sistema vegetal, constituido por un hospedante (planta o cultivo) susceptible, un patógeno virulento y un ambiente favorable a la enfermedad.

3.3. Uso de secuencias de cultivos para la promoción de poblaciones de *Trichoderma*

Las medidas más sustentables para lograr disminuir el riesgo de infección a enfermedades transmitidas por rastrojo en un sistema de agricultura intensiva en donde más del 80% de los cultivos de trigo se siembran bajo la modalidad de siembra directa incluyen el uso de variedades resistentes y la rotación de cultivos. El menú de variedades de cultivos de invierno disponibles actualmente no asegura resistencia a todas las enfermedades asociadas al rastrojo. Por otra parte, la lista reducida de especies vegetales manejadas en el presente en los sistemas agrícolas compromete el beneficio de una rotación de por lo menos dos años sin cultivos susceptibles, como es la recomendación basada en resultados obtenidos en trabajos de investigación (Pereyra y Díaz de Ackermann, 2009; Pérez y Villar, 2011).

Las diferentes especies vegetales son capaces de alterar la composición y la actividad de las comunidades microbianas endófitas,² de la rizósfera³ y del suelo, principalmente por la acción de exudados de raíces y rastrojos (Hartmann *et al.*, 2009). A partir de esta premisa, estudiamos la dinámica de patógenos de trigo y cebada –algunos específicos y otros compartidos entre estos cultivos– dependientes del rastrojo, como *Fusarium graminearum*, *Bipolaris sorokiniana* y *Drechslera* spp., y de hongos benéficos del género *Trichoderma* en diversas secuencias de cultivos sobre siembra directa, en distintos trabajos llevados en el INIA y en el conjunto con la Facultad de Agronomía (UDELAR).

En un experimento de largo plazo en siembra directa, establecido en el INIA La Estanzuela en 2003, realizamos muestreos de rastrojos y restos secos cada tres a cuatro meses en el período diciembre de 2006-octubre de 2009. Los tratamientos consistieron en combinaciones de tipo de rastrojo (especie vegetal), edad del mismo y rotación. Las rotaciones estudiadas fueron: agricultura continua (AC) (soja/cebada-girasol/trigo) y rotación corta con pastura (CP) (maíz/cebada-soja/pastura bianual). La pastura estuvo integrada por raigrás (*Lolium multiflorum* L.), trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). Se deter-

2 Endófito: microorganismo que pasa la mayor parte o todo su ciclo de vida colonizando los tejidos de la planta hospedera, sin causar daño evidente.

3 Rizósfera: zona del suelo más cercana a las raíces de las plantas (1-5 mm) y que se encuentra bajo la influencia directa de estas.

minó que la secuencia de cultivos afecta significativamente la población de *Trichoderma* spp (Pereyra *et al.*, 2012).

Se recuperó *Trichoderma* spp. a partir de todos los restos de cultivos estudiados (Tabla 1). Los rastrojos con mayores porcentajes de colonización fueron los de cebada, raigrás y trigo. En forma coincidente, otros trabajos que estudiaron la población de *Trichoderma* en suelo en secuencias de cultivos en siembra directa indican que las mayores poblaciones de *Trichoderma* se registraron luego de la presencia del cultivo de cebada (Pérez y Villar, 2011; Villar *et al.*, 2019). Los rastrojos de leguminosas, girasol y maíz presentaron menores valores, en promedio, respecto de las gramíneas antes citadas. Analizando las dos secuencias, la colonización de los rastrojos provenientes de agricultura continua (AC) fue significativamente ($p > 0.0017$) mayor (32,2%) que la registrada en los rastrojos de la rotación cultivo-pastura (CP, 24,0%) (Pereyra *et al.*, 2012). Esta información coincide, además, con la registrada en el mismo periodo en muestreos de chacras con historia trigo-soja (AC) y trigo-soja-maíz-alfalfa (CP) por al menos dos ciclos consecutivos en las zonas de San Pedro y La Horqueta, Colonia (datos no presentados).

TABLA 1. PESO SECO RELATIVO Y COLONIZACIÓN DE DISTINTOS RASTROJOS DE DIFERENTES EDADES RECUPERADOS DE DOS ROTACIONES DE CULTIVOS EN SIEMBRA DIRECTA POR HONGOS PATÓGENOS Y BENÉFICOS EN MUESTRAS COLECTADAS EN EL PERÍODO DICIEMBRE DE 2006 A OCTUBRE DE 2009

TRATAMIENTO			Peso seco relativo ³ (%)	COLONIZACIÓN (%)				
Tipo de rastrojo	Edad del rastrojo ¹	Rotación ²		<i>Fusarium</i> spp.	<i>F. gram</i> ⁴	<i>B. sorok</i> ⁵	<i>Drechslera</i> spp. ⁶	<i>Trichod. spp.</i> ⁷
Trigo	1	AC	80,6 a ⁸	31,7 d ⁹	15,6 a ⁹	3,5 bc ⁹	1,4 b ⁹	37,1 9 ⁸
Trigo	2	AC	8,9 de	40,7 cd	6,2 b	4,7 bc	0,6 b	29,8 b
Cebada	1	AC	49,9 b	50,3 c	4,8 b	11,9 a	4,0 a	52,8 a
Cebada	1	CP	49,4 b	54,4 c	5,0 b	7,1 ab	3,8 a	35,6 b
Cebada	2	AC	2,1 e	41,4 cd	1,5 c	6,4 ab	2,6 ab	(84,0 abcd)
Cebada	2	CP	20,9 cd	74,6 ab	2,8 bc	4,8 bc	0,6 b	40,5 b

(Continúa en página siguiente)

Soja	1	AC	12,9 de	71,4 ab	0,1 d	nd	nd	16,4 cd
Soja	1	CP	55,7 b	61,3 c	0,0 d	nd	nd	17,3 cd
Soja	2	AC	5,8 e	34,1 d	nd	nd	nd	(20,2 cd)
Soja	2	CP	22,6 cd	14,7 e	0,0 d	nd	nd	13,4 d
Maíz	1	CP	74,9 a	82,8 a	0,3 d	nd	nd	20,8 cd
Maíz	2	CP	23,5 c	73,2 b	0,3 d	nd	nd	15,8 d
Girasol	1	AC	48,2 b	52,3 c	0,0 d	nd	nd	20,4 cd
Girasol	2	AC	13,4 cde	13,0 e	0,0 d	nd	nd	18,2 cd
Raigrás	1	CP	48,4 b	36,8 d	0,9 d	2,4 c	1,1 b	26,4 bc
Raigrás	2	CP	17,8 cde	38,7 d	0,4 de	3,0 bc	0,9 b	45,4 bc
T. Blanco	1	CP	3,9 de	15,3 e	0,0 d	nd	nd	(25,0 abc)
T. Rojo	1	CP	30,2 d	32,0 d	0,0 d	nd	nd	21,0 cd
T. Rojo	2	CP	6,7 de	14,0 e	nd	nd	nd	26,0 bc
$p>F$			0.0001					
$p>\chi^2$				0.0001	0.0001	0.0008	0.0001	0.0001

Notas:

¹ 1: 365 días o menos; 2: 366 días o más.

² AC: agricultura continua, soja/cebada-girasol/trigo; CP: cultivos-pastura bianual (maíz/cebada-soja/ raigrás + trébol blanco + t. rojo).

³ Peso seco relativo sobre la base del peso seco total de rastrojos colectados por cuadro.

⁴ *Fusarium graminearum*; ⁵ *Bipolaris sorokiniana*; ⁶ Especie aislada en trigo: *D. tritici-repentis*; en cebada: *D. teres*; en raigrás: *D. nobleae*; ⁷ *Trichoderma spp.*

⁸ Los valores son medias de cada tratamiento (rastrajo-edad-rotación) de diez muestreos. Valores con letras diferentes en una misma columna son significativamente diferentes al $p = 0.05$ según MDS.

⁹ Los valores son medias de cada tratamiento (rastrajo-edad-rotación) de diez muestreos en el período diciembre de 2006-octubre de 2009. Valores con letras diferentes en una misma columna son significativamente diferentes al $p = 0.05$ basado en estadística de máxima verosimilitud.

nd: no determinado.

() : dato basado en un bajo número de muestras.

Fuente: Pereyra et al. (2012).

La incorporación de fuentes de carbono al suelo, como los restos de cultivos, aumenta la disponibilidad de nutrientes para su comunidad microbiana, posibilitando así un aumento en la población. También se da

una mayor competencia en donde se benefician los microorganismos con superior habilidad competitiva frente a residuos con baja relación carbono/nitrógeno. En resumen, existe potencial para favorecer el incremento de poblaciones de especies benéficas de *Trichoderma* mediante su inoculación en sistemas agrícolas y el uso de gramíneas en las secuencias de cultivos.

4. Consideraciones finales

Una transición desde los sistemas actuales de producción agrícolas hacia un enfoque agroecológico debe estar basada en un nuevo conjunto de interrelaciones ecológicas. Ello implica continuar avanzando en los conocimientos y en el esfuerzo de obtención de variedades con niveles aceptables de resistencia a enfermedades múltiples y de tipo durable, adherirse al esquema de por lo menos dos años sin rastrojo de trigo y explorar otras medidas que se integren al uso de microorganismos benéficos, como por ejemplo hongos del género *Trichoderma* y secuencias de cultivos que los beneficien. Es necesario profundizar en la comprensión de las múltiples interacciones entre las poblaciones de los patógenos causales de enfermedades en trigo y en los diferentes cultivos que integran los sistemas de producción agrícolas, y su interacción con las poblaciones de microorganismos con potencial de biocontrol y en cómo las diferentes medidas de manejo los afectan. La información compartida en este capítulo pretendió contribuir en este sentido.

Bibliografía

Beare, M., Pohlad, B., Wright, D. y Coleman, D.

(1993), “Residue placement and fungicide effects on fungal communities in conventional and non-tillage soils”, en *Soil. Sc. Soc. Am. J.*, 57, pp. 392-399.

Bruhl, G. W. y Lai, P.

(1966), “Prior-colonization as a factor in the saprophytic survival of several fungi in wheat straw”, en *Phytopathology*, 56, pp. 766-768.

Bujold, I., Paulitz, T.C. y Carisse, O.

(2001), “Effect of *Microsphaeropsis* sp. on the production of perithecia and ascospores of *Gibberella zeae*”, en *Plant Disease*, 85, pp. 977-984.

Cabrera, M., Garmendia, G., Rufo, C., Pereyra, S. y Vero, S.

(2020), “*Trichoderma atroviride* como controlador biológico de fusariosis de espiga de trigo mediante la reducción del inóculo primario en rastrojo”, en

Terra Latinoamericana, 38-3, pp. 629-651. DOI: <<https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.66>>.

Díaz, R., Souto, G. y Ferrari, J. M.

(2004), "Tecnología y estructura de producción", en *Resúmenes del Simposio Sustentabilidad de la intensificación agrícola en el Uruguay*, INIA, Serie Actividades de Difusión 365, pp.1-6.

Garret, S. D.

(1970). "*Pathogenic root-infecting fungi*", Cambridge University Press, Cambridge, 294 pp.

Germán, S., Díaz de Ackermann, M., Silva, P., Quincke, M. y Pereyra, S.

(2018), "Mejoramiento por resistencia a enfermedades de trigo en Uruguay", en Germán, S., Quincke, M., Vázquez, D., Castro, M., Pereyra, S., Silva, P. y García, A. (eds), *Seminario Internacional 1914-2014, un siglo de mejoramiento de trigo en La Estanzuela*, Serie Técnica 247, INIA, Montevideo, pp. 148-166.

Germán, S., Campos, P., Chaves, M., Viedma, L. y Madariaga, R.

(2009), "Are rust pathogens under control in the Southern Cone of South America?", en *Borlaug Global Rust Initiative (BGRI) Technical Workshop, oral papers*, pp. 65-73.

Ghisalberti, E. L. y Sivasithamparam, K.

(1991), "Antifungal antibiotics produced by *Trichoderma* spp.", en *Soil Biol. Biochem.*, 23, pp.1011-1020.

Gliessman, S.

(2016), "Transforming food systems with agroecology", en *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40, pp187-189. DOI: 10.1080/21683565.2015.1130765.

Harper, S. H. T. y Lynch, J. M.

(1985), "Colonization and decomposition of straw by fungi", en *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 85, pp. 655-661.

Hartmann, A., Schmid, M., Tuinen, D.V. y Berg, G.

(2009). "Plant-driven selection of microbes", en *Plant Soil* 321, pp. 235-257 <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9814-y>

Hoitink, H. y Boehm, M.

(1999), "Biocontrol within the context of soil microbial communities: A substrate-dependent phenomenon", en *Annu Rev Phytopathol*, 37, pp. 427-446.

Mondino, P., Altier, N., Vero, S., Pereyra, S. y Folch, C.

(2014), "Control biológico de enfermedades de plantas en Uruguay", en Bettiol, W., Rivera, M. C., Mondino, P., Montealegre, J. R. y Colmenárez, Y. C. (eds.), *Control biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe*, Facultad de Agronomía, UDELAR, Montevideo, 404 pp.

Paruelo, J. M., Guerschman, J. P., Piñeiro, G., Jobbágy, E. G., Verón, S. R., Baldi, G. y Baeza, S.

(2006), "Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: marcos conceptuales para su análisis", en *Agrociencia Uruguay*, 10(2), pp. 47-61.

Pereyra S. A, Dill-Macky, R.

(2008), “Colonization of the Residues of Diverse Plant Species by *Gibberella zeae* and their Contribution to Fusarium Head Blight Inoculum”, en *Plant Disease*, 92, pp 800-807.

Pereyra, S. y Díaz de Ackermann, M.

(2009), “Enfermedades transmitidas por rastrojo en trigo y cebada”, en *Jornada Técnica de Cultivos de Invierno*, INIA, Serie Actividades de Difusión 566, Montevideo, pp. 25-34.

Pereyra, S., Díaz de Ackermann, M., Germán, S. y Cabrera, K.

(2011b), *Manejo de enfermedades en trigo y cebada*, INIA-Hemisferio Sur, Serie Técnica 189, Montevideo. 200p.

Pereyra, S., Garmendia, G., Cabrera, M., Vero, S., Pianzolla, M. y Dill-Macky, R.

(2005), “Control biológico de la Fusariosis de la espiga de trigo y cebada”, en *Agrociencia Uruguay*, 9, pp. :337-343.

Pereyra, S., Germán, S. y Díaz, M.

(2011a), “Del patógeno al cultivo: sus interacciones y alternativas de manejo en la producción de trigo y cebada”, en Hoffman, E., Ribeiro, A., Ernst, O. y García, F. O. (eds.), *II Simposio Nacional de Agricultura de Secano*, Hemisferio Sur, Montevideo, pp. 89-110.

Pereyra, S., Ríos, A. y Zerbino, S.

(2012), “Efecto de la frecuencia de cultivos sobre la dinámica de los patógenos”, en *Uso de la biodiversidad para la evaluación del impacto de la intensificación agrícola y el diseño de agroecosistemas sustentables*. INIA, Serie Actividades de Difusión 674, pp. 101-105

Pérez, C. y Villar, H. A.

(2011), “Control biológico en cultivos extensivos: cuando el enfoque condiciona el éxito”, en Pereyra, S., Díaz de Ackermann, M., Germán, S. y Cabrera, K. (eds.), *Manejo de enfermedades en trigo y cebada*, INIA-Hemisferio Sur, Serie Técnica 189, Montevideo, pp. 49-62.

Quincke, M., Pereyra, S., Vázquez, D., Silva, P. y Germán, S.

(2018), “Mejoramiento genético de trigo en Uruguay”, en Germán, S., Quincke, M., Vázquez, D., Castro, M., Pereyra, S., Silva, P. y García, A. (eds), *Seminario Internacional 1914-2014, un siglo de mejoramiento de trigo en La Estanzuela*, INIA, Serie Técnica 247, Montevideo, pp. 2-11.

Stewart, S., Pereyra, S. y Díaz, M.

(2004), “El efecto de la intensificación agrícola en las enfermedades de los cultivos”, en *Resúmenes del Simposio Sustentabilidad de la intensificación agrícola en el Uruguay*, INIA, Serie Actividades de Difusión 365, pp.19-24.

Tronsmo, A. y Hjeljord, L. G.

(1998), “Biological control with *Trichoderma* species”, en Boland, G. J. y Kuykendall, L. D. (eds.), *Plant-microbe interactions and biological control*, Marcel Dekker Inc., Nueva York, pp. 111-126.

Umpiérrez-Failache, M., Garmendia, G., Pereyra, S., Rodríguez-Haralambides, A., Ward, T. J. y Vero, S.

(2013), “Regional differences in species composition and toxigenic potential among *Fusarium* head blight isolates from Uruguay indicate a risk of nivale-nol contamination in new wheat production areas”, en *International Journal of Food Microbiology*, 166(1), pp. 135-140.

Villar, A., Ernst, O., Cadenazzi, M., Vero, S., Pereyra, S., Altier, N., Chouhy, D., Langone, F. y Pérez, C. A.

(2019), “Efecto de la secuencia de cultivos sobre la población nativa de *Trichoderma* spp. en agricultura sin laboreo”, en *Agrociencia Uruguay*, 23, pp. 18-27. doi: <<http://dx.doi.org/10.31285/agro.23.1.5>>.