



Interacción entre plantas de festuca alta de distinto origen libres e infectadas con distintos hongos endófitos

Lucas Ricardo Petigrosso^{1,2}  Hipólito Arata¹  María Alejandra Marino¹  Osvaldo R. Vignolio¹ 

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Ruta 226 km 73,5, 7620 Balcarce, Argentina.

Resumen. Festuca alta crece en pastizales y también se la cultiva en pasturas. Esta gramínea suele estar infectada con un hongo endófito silvestre que produce alcaloides que son tóxicos para el ganado. Una estrategia para disminuir la toxicidad es intersembrar a la gramínea con otras especies no afectadas, leguminosas, gramíneas y cultivares inoculados con endófitos seguros (no tóxicos). El objetivo de este trabajo fue analizar bajo corte, el crecimiento vegetativo y reproductivo de plantas de festuca alta naturalizada e infectada con endófito silvestre (PE+) creciendo en mezcla con: i) plantas de festuca alta naturalizada libre de endófito (PE-); ii) un cultivar libre (TE-), y iii) un cultivar infectado con endófito no tóxico AR584 (TE+). Se cultivaron en condiciones de campo dos plantas por maceta de los siguientes siete arreglos: los monocultivos PE+PE+, PE-PE-, TE-TE-, y TE+TE+, y las mezclas 1:1 PE+PE-, PE+TE+, PE+TE-. El experimento se realizó mediante un diseño completamente aleatorizado con ocho repeticiones. La producción de biomasa aérea acumulada se calculó a partir de cuatro cortes sucesivos cada vez que se registraron dos nuevas hojas completamente expandidas en el macollo principal. Luego del último corte, en tres repeticiones, se cosechó la planta entera, y se la fraccionó en biomasa aérea y raíces. A partir de los datos de biomasa aérea se calcularon índices de competencia y de agresividad. Las cinco repeticiones restantes, se cultivaron hasta completar su ciclo reproductivo. Se determinó el número de panojas por planta, las semillas producidas, y se calculó el esfuerzo reproductivo. Bajo nuestras condiciones, el cultivar Taita infectado con el endófito no tóxico fue más competitivo en lo que respecta a la producción de biomasa aérea que las plantas de la población infectada con endófito silvestre. Futuros trabajos deberán contemplar el análisis de alcaloides de la mezcla bajo diferentes condiciones ambientales de la región.

Palabras clave: *Festuca arundinacea*, *Epichloë coenophiala*, endófitos no tóxicos, rendimiento relativo, índice de agresividad.

Interaction between tall fescue plants of different origins free and infected with different endophytic fungi

Abstract. Tall fescue grows in grasslands and is also cultivated in pastures. This grass species is often infected with a wild endophytic fungus that produces alkaloids toxic to livestock. A strategy to reduce the toxicity caused by the consumption of tall fescue infected with wild endophyte fungus in grazing livestock is the interseeding of infected pastures with legumes or endophyte-free grasses, or alternatively, using cultivars that have been inoculated with safe (non-toxic) endophytes. The aim of this study was to analyze, under cutting conditions, the vegetative and reproductive growth of naturalized tall fescue plants infected with wild endophyte (PE+) in the presence of: i) naturalized tall fescue plants free of endophyte (PE-); ii) an endophyte-free cultivar (TE-); and iii) a cultivar infected with a non-toxic endophyte AR584 (TE+). Two plants per pot were grown in field conditions with the following seven arrangements: monocultures PE+PE+, PE-PE-, TE-TE-, and TE+TE+, and the 1:1 mixtures PE+PE-, PE+TE+, PE+TE-. The experiment was conducted using a completely randomized design with eight replications. The accumulated aerial biomass production was calculated from four successive cuts each time two new fully expanded leaves were recorded on the main tiller of the plants. After the final cut, in three replications, the entire plant was harvested and separated into aerial biomass and roots. From the aerial biomass data, competition and aggressiveness indices were calculated. The remaining five replications were grown until they completed their reproductive cycle. The number of panicles per plant, the seeds produced, and reproductive effort were determined. Under our conditions, the cultivar Taita infected with the non-toxic endophyte was more competitive in terms of aboveground biomass production than plants from the wild-type population infected with the endophyte. Future work should consider analyzing the alkaloids in the mixture under different environmental conditions in the region.

Keywords: *Festuca arundinacea*, *Epichloë coenophiala*, non-toxic endophytes, relative yield, aggressiveness index.

Recibido: 2024-10-28 Revisado: 2025-06-17 Aceptado: 2025-06-25

¹Autor para correspondencia Lucas Ricardo Petigrosso: lpetigrosso@mdp.edu.ar

²Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Pontificia Universidad Católica Argentina (UCA), sede CABA.



Interacción entre plantas de festuca alta de diferentes orígenes, libres e infetadas con diferentes hongos endofíticos

Resumo. A festuca alta cresce em pastagens e também é cultivada em pastagens. Esta gramínea é frequentemente infetada por um fungo endofítico selvagem que produz alcaloides tóxicos para o gado. Uma estratégia para reduzir a toxicidade é intercalar a gramínea com outras espécies não afetadas, leguminosas, gramíneas e cultivares inoculadas com endófitos seguros (não tóxicos). O objetivo deste estudo foi analisar, sob corte, o crescimento vegetativo e reprodutivo de plantas de festuca alta naturalizadas infetadas com endófitos selvagens (PE+), cultivadas em mistura com: i) plantas de festuca alta naturalizadas isentas de endófitos (PE-); ii) uma cultivar livre (TE-); iii) uma cultivar infetada com o endófito não tóxico AR584 (TE+). Foram cultivadas duas plantas por vaso em condições de campo nos seguintes sete arranjos: as monoculturas PE+PE+, PE-PE-, TE-TE- e TE+TE+, e as misturas 1:1 PE+PE-, PE+TE+, PE+TE-. A experiência foi conduzida utilizando um delineamento inteiramente casualizado com oito repetições. A produção cumulativa de biomassa acima do solo foi calculada a partir de quatro cortes sucessivos de cada vez que foram registradas duas folhas novas e totalmente expandidas no perfilho principal. Após o último corte, em três repetições, a planta inteira foi colhida e fracionada em biomassa acima do solo e das raízes. Os índices de competição e agressividade foram calculados a partir dos dados de biomassa acima do solo. As restantes cinco repetições foram cultivadas para completar o seu ciclo reprodutivo. O número de panículas por planta e o número de sementes produzidas foram determinados, e o esforço reprodutivo foi calculado. Sob nossas condições, a cultivar Taita infectada com o endófito seguro foi mais competitiva em termos de produção de biomassa acima do solo do que as plantas da população selvagem infectada com o endófito. Trabalhos futuros devem considerar a análise dos alcaloides na mistura sob diferentes condições ambientais na região.

Palavras-chave: *Festuca arundinacea*, *Epichloë coenophiala*, endófitos não tóxicos, produtividade relativa, índice de agressividade.

Introducción

Festuca alta, *Festuca arundinacea* Schreb., es una gramínea C_3 perenne, de origen europeo, de crecimiento otoño-inverno-primaveral, que se propaga por semillas y es cultivada para uso forrajero en ambientes templado-húmedos y sub-húmedos de diferentes países (Gibson y Newman, 2001; Young *et al.*, 2013). En Argentina, se la puede encontrar en pasturas y pastizales (Roitman y Preliasco, 2018). Entre las principales cualidades agronómicas de festuca alta se destacan: i) aceptable productividad, especialmente en invierno; ii) alta palatabilidad, iii) persistencia de sus poblaciones y, iv) plasticidad de las plantas para crecer en condiciones climáticas y edáficas variables (Mazzanti *et al.*, 1992; Scheneiter *et al.*, 2016). Sin embargo, la mayoría de las poblaciones de festuca alta naturalizadas en los pastizales, pueden presentar un factor anti-calidad que afecta negativamente la productividad y economía de los sistemas ganaderos (Evans *et al.*, 2012). Esta condición se debe a la asociación simbiótica de festuca alta con un hongo endófito, *Epichloë coenophiala* (Leuchtmann *et al.*, 2014), que produce alcaloides que son tóxicos para los herbívoros que consumen el forraje (Bacon *et al.*, 1977; De Battista, 2005; Gundel *et al.*, 2009; Petigrosso *et al.*, 2013; Graff *et al.*, 2020). La relación entre los endófitos *Epichloë* y las gramíneas hospedantes es considerada "mutualista" (Clay y Schardl, 2002). Por un lado, los

endófitos obtienen hidratos de carbono solubles de las plantas (Cheplick, 2007); y por otro, las plantas presentan mayor aptitud ecológica, sobre todo en ambientes con estreses abióticos (Bastias *et al.*, 2017; Decunta *et al.*, 2021), y resistencia a ser consumidas por invertebrados y vertebrados (Young *et al.*, 2013; Hernández-Agramonte *et al.*, 2018).

Las poblaciones de festuca alta infectadas están ampliamente distribuidas en los pastizales y banquinas de la región Pampeana argentina (De Battista, 2005; Gundel *et al.*, 2009; Petigrosso *et al.*, 2013; Graff *et al.*, 2020). Una de las estrategias utilizadas para disminuir la toxicidad del forraje infectado en pasturas y pastizales, es mediante la intersiembra con otras especies forrajeras como leguminosas (Petigrosso *et al.*, 2020a) o gramíneas como festuca alta libre de endófito (Petigrosso *et al.*, 2019). Otra estrategia es intersembrar cultivares de festuca que han sido inoculados con endófitos "seguros o no tóxicos" (Bouton *et al.*, 2002; Hopkins *et al.*, 2010). Estos últimos, producen alcaloides de la familia de las lolinas y peraminas, que no son tóxicos para el ganado (Schardl, 2009; Gundel *et al.*, 2013; Johnson *et al.*, 2013) y les confieren a las plantas mayor performance bajo estreses ambientales (Hopkins *et al.*, 2010; Lugtenberg *et al.*, 2016). En procura de planificar manejos que permitan reducir la

toxicidad del forraje de las poblaciones naturalizadas de festuca alta, resulta relevante conocer su habilidad competitiva con otras combinaciones de genotipo vegetal-endófito. El objetivo de este trabajo fue analizar bajo corte, el crecimiento vegetativo y reproductivo de plantas de festuca alta naturalizada e infectada con

endófito silvestre en mezcla con: i) plantas de festuca alta naturalizada libre de endófito; ii) un cultivar libre y iii) un cultivar infectado con endófito no tóxico AR584. Se espera que la información básica que surja del presente trabajo sea un aporte en el manejo de la problemática en cuestión.

Materiales y Métodos

Sitio experimental y obtención de materiales

El trabajo se realizó en el campo experimental de la Unidad Integrada Balcarce (Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Mar del Plata - Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Balcarce, Buenos Aires, Argentina, 37°45' S, 58°17' W, 130 m s.n.m). Se trabajó con semilla de una misma población de festuca alta, libre (PE-) e infectada (PE+) con endófito silvestre *Epichlœ coenophiala*, y el cultivar comercial Taita (provisto por Gentos S.A) libre (TE-) e infectado (TE+) con el endófito no tóxico AR584 (Grasslanz Technology Limited, Palmerston North, Nueva Zelanda). La semilla de la población PE+ se cosechó en un pastizal del Partido de Mar Chiquita (37°32' S; 57°55' O), y se almacenó en heladera a 5 °C para mantener la viabilidad del endófito. La semilla libre de endófito silvestre se obtuvo a partir de la eliminación del endófito mediante el almacenamiento de la semilla infectada antes mencionada, a 20 °C de temperatura y 52 % HR durante 12 meses. Con el objetivo de realizar el experimento con semilla cosechada en el mismo año, y de comprobada condición endofítica, se cultivaron plantas provenientes de los cuatro materiales. Para ello, se sembró la semilla de cada tratamiento (i.e., PE+, PE-, TE+ y TE-) en cinco bandejas plantineras a razón de una semilla por celda. El sustrato empleado fue tierra del horizonte superficial de un suelo Argiudol típico. Las bandejas se ubicaron en un invernáculo y, cuando las plantas comenzaron a macollar, se determinó la presencia de endófito mediante análisis microscópico (Belanger, 1996). La temperatura promedio durante ese periodo experimental (marzo-mayo) en el invernáculo fue de $16,5 \pm 3,4$ °C y la humedad relativa de 85 ± 9 %. Así, se eliminaron las plantas que no correspondían al estado endofítico del respectivo tratamiento. El resto de las plantas se trasplantaron y cultivaron al aire libre en macetas de 1 L hasta llegar a estado reproductivo. Se cosechó la semilla producida y se verificó nuevamente la condición endofítica mediante el análisis microscópico de las mismas (Saha *et al.*, 1988). La semilla obtenida de los cuatro materiales se almacenó en heladera a 5 °C hasta el momento del inicio del experimento.

Diseño y conducción del experimento

Se cultivaron dos plantas por maceta de acuerdo con los siguientes arreglos: los monocultivos PE+PE+, PE-PE-, TE-TE-, y TE+TE+, y las mezclas 1:1 de PE+ con los materiales de festuca alta inocuos (PE+PE-; PE+TE+; PE+TE-). Para ello, se sembraron cuatro semillas por maceta en el caso de los monocultivos, o cuatro semillas de cada uno de los materiales de festuca alta en el caso de las mezclas (i.e., 8 semillas en total por maceta) perfectamente identificada con aros de colores. A los 15 días se raleó dejando sólo dos plántulas homogéneas por maceta del/de los material/es de festuca alta que correspondiera/n, con su identificación. Las plantas estaban ubicadas de manera equidistantes (i.e., misma distancia de los bordes de la maceta). Esta disposición permite estudiar la interferencia entre ambas plantas, ya que, al compartir el mismo volumen de suelo, agua, nutrientes y espacio aéreo, se generan interacciones competitivas. El experimento se realizó mediante un diseño completamente aleatorizado con ocho repeticiones. En total se utilizaron 56 macetas de 3 L (7 arreglos x 8 repeticiones) conteniendo tierra del horizonte superficial (0-20 cm) de un suelo agrícola (9,6 ppm de P Bray-1, 5,9 % MO y 9,3 ppm N-NO₃⁻). A la siembra se aplicaron 20 kg P ha⁻¹ y 50 kg N ha⁻¹, simulando la fertilización que realizan los productores a campo al momento de la siembra de pasturas. Todas las macetas se regaron y se ubicaron en bandejas de plástico a fin de mantener una lámina de agua de 0,5 mm para asegurar, un contenido de agua a capacidad de campo. Se controló manualmente la presencia de malezas.

Determinaciones

Cortes de la biomasa aérea. Cada vez que se registraron dos nuevas hojas completamente expandidas (lígula visible) en el macollo principal, las plantas se cortaron a 50 mm de altura desde el nivel del suelo. Se realizaron cuatro cortes, a los 54, 90, 150 y 197 días desde la emergencia, respectivamente. En el último corte, en tres repeticiones, se cosechó la planta entera y se la fraccionó en parte aérea y raíces. Las raíces se lavaron con agua corriente sobre un tamiz con una

mallá de 1 mm. La biomasa cosechada se secó en estufa de aire forzado a 60 °C hasta peso constante y se pesó en una balanza analítica. Con los pesos secos se calculó la biomasa aérea acumulada (cuatro cortes) y remanente (i.e., aérea por debajo de los 50 mm), biomasa de raíces y biomasa total por planta.

Variables reproductivas

Las plantas de las cinco repeticiones restantes, se cultivaron hasta que completaron su ciclo reproductivo. Las panojas se cosecharon a los 275 días de la emergencia. Se determinó el peso total de semillas por planta utilizando una balanza analítica. Posteriormente, se tomaron tres repeticiones de 50 semillas/planta para obtener el peso promedio de las semillas y calcular el número de semillas por planta. En cuatro de estas repeticiones se registró el número de macollos totales por planta (reproductivos y vegetativos) para calcular el esfuerzo reproductivo (i.e., panojas/macollos totales).

Estimación de índices de competencia y de agresividad de las plantas

Los datos de biomasa aérea acumulada fueron utilizados para evaluar interacciones de competencia y agresividad. A fin de simplificar la descripción de los cálculos, se usará como ejemplo la mezcla PE+PE- en el planteo de las fórmulas. Mediante los cálculos del rendimiento relativo (RR) se estimó la competencia intra e interespecífica (Weigelt y Jolliffe 2003):

$$RR_{PE+} = R_{PE+PE-} / R_{PE+PE+} \quad RR_{PE-} = R_{PE-PE+} / R_{PE-PE-}$$

Durante el período experimental no se produjo mortalidad de plantas. La biomasa aérea cosechada acumulada total difirió significativamente ($p < 0,0001$) según el tratamiento (Tabla 1). El monocultivo TE-TE- y la mezcla PE+TE+ presentaron mayor biomasa acumulada que el resto de las mezclas y monocultivos, y no difirieron significativamente entre sí (Tabla 1). En esta última mezcla (PE+TE+), las plantas PE+ produjeron mayor biomasa (1,89 g MS/pl.) que creciendo en monocultivo (1,76 g MS/pl., Tabla 1), aunque esta diferencia no fue significativa ($p = 0,318$). Lo mismo ocurrió para TE+, donde las plantas TE+ en mezcla con PE+, produjeron un 19 % más de biomasa que TE+TE+ (Tabla 1), sin embargo, dicha diferencia tampoco fue significativa ($p = 0,199$).

En los arreglos PE+PE- y PE+TE+ el rendimiento relativo de PE+ fue mayor en un 10% y 29%,

Siendo R_{PE+PE-} y R_{PE-PE+} los rendimientos de PE+ y PE- en las mezclas, y R_{PE+PE+} y R_{PE-PE-} los rendimientos por maceta de PE+ y PE- creciendo en los respectivos monocultivos. La suma de ambos RR da el rendimiento relativo total para dicha mezcla (RRT).

Complementariamente, utilizando los datos de biomasa se calculó el índice de agresividad de las plantas PE+ sobre las plantas de festuca de los distintos materiales inocuos (PE-, TE- y TE+) (Doubi *et al.*, 2016). Siguiendo el anterior ejemplo, el índice de agresividad (A) para plantas PE+ sobre plantas PE- en mezclas, se calculó como:

$$A_{PE+PE-} = (R_{PE+PE-} / R_{PE+PE+} * p) - (R_{PE-PE+} / R_{PE-PE-} * q)$$

Donde p y q son las proporciones en cada condición de cultivo (en este estudio, $p = q = 0,5$). De acuerdo a esta ecuación, en caso de que ambos tipos de materiales sean igualmente competitivos, RR_{PE+PE-} es igual a RR_{PE-PE+} y $A_{PE+PE-} = 0$. Si A fuera positivo o negativo, se inferiría que PE+ sería el material dominante o subordinado en las mezclas, respectivamente.

Análisis estadístico

Los datos de las variables medidas fueron sometidos al análisis de varianza y, ante diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha \leq 0,05$), las medias se compararon mediante la prueba de mínima diferencia significativa (MDS, $p < 0,05$). En el caso de los monocultivos, la media utilizada para realizar las comparaciones correspondió al promedio de las dos plantas PE+. Para todos los análisis se empleó el programa estadístico R (R Core Team, 2018).

Resultados

respectivamente, indicando una superioridad competitiva y agresividad de la población silvestre infectada (Tabla 2). En cambio, en el arreglo PE+TE+, el cultivar Taita infectado presentó mayor rendimiento relativo (11%), consistente con su mayor agresividad (Tabla 2).

En el análisis comparativo de la biomasa vegetativa de las plantas PE+ en monocultivo (PE+PE+) con respecto al de PE+ en las mezclas PE+PE-, PE+TE+ y PE+TE-, ninguno de los materiales acompañantes afectó la biomasa total ($p = 0,1686$), la biomasa aérea cosechada acumulada ($p = 0,3242$), ni la biomasa de raíces ($p = 0,9647$) de PE+ (Tabla 3). Tampoco ninguno de los materiales acompañantes afectó significativamente a las variables reproductivas, como el número de panojas ($p = 0,621$), el esfuerzo reproductivo ($p = 0,681$) y la producción de semillas ($p = 0,185$) de las plantas PE+ (Tabla 3).

Tabla 1. Biomasa aérea cosechada acumulada (BCA, g MS/planta) y total (BCA total, g/maceta) de plantas de festuca alta naturalizada libres (PE-) o infectadas con endófito silvestre (PE+) o del cultivar Taita libres (TE-) o infectados con endófito seguro AR584 (TE+) creciendo en monocultivo y en mezcla. Media $\pm$ EE. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre mezclas.

Mezcla	BCA (g/planta)	BCA	total (g/maceta)
PE+PE+	PE+ = $1,76 \pm 0,09$	-	$3,52 \pm 0,18^b$
PE-PE-	PE- = $1,86 \pm 0,12$	-	$3,72 \pm 0,24^b$
TE+TE+	TE+ = $1,77 \pm 0,08$	-	$3,54 \pm 0,16^b$
TE-TE-	TE- = $2,17 \pm 0,06$	-	$4,34 \pm 0,12^a$
PE+PE-	PE+ = $1,94 \pm 0,23$	PE- = $1,84 \pm 0,15$	$3,78 \pm 0,35^b$
PE+TE+	PE+ = $1,89 \pm 0,19$	TE+ = $2,11 \pm 0,19$	$4,00 \pm 0,11^a$
PE+TE-	PE+ = $1,43 \pm 0,12$	TE- = $1,27 \pm 0,16$	$2,70 \pm 0,24^b$

Tabla 2. Valores de biomasa aérea relativa correspondiente a la suma de los cortes y el índice de agresividad de plantas PE+ (A_{PE+}) de plantas de festuca alta naturalizada infectadas con endófito silvestre creciendo en mezcla con plantas de festuca alta naturalizada libre de endófito (PE+PE-), o del cultivar Taita libre (PE+TE-) o infectado con endófito seguro AR584 (PE+TE+). RR_{PE+} (rendimiento relativo de plantas PE+), $RR_{acompañante}$ (rendimiento relativo de plantas PE-, TE- o TE+ según la mezcla).

Mezcla	RR_{PE+}	$RR_{acompañante}$	A_{PE+}
PE+PE-	0,551	0,496	0,11
PE+TE-	0,408	0,293	0,23
PE+TE+	0,537	0,597	-0,12

Tabla 3. Biomasa aérea (BA = cosechada acumulada + biomasa aérea remanente), biomasa de raíces (BR), biomasa total al final del periodo experimental (BT), esfuerzo reproductivo (ER), número de panojas y producción de semillas de plantas de festuca alta naturalizada infectadas con endófito silvestre (PE+) creciendo en monocultivo o en mezcla con plantas de festuca alta de distintos materiales acompañantes: plantas libres de endófito (PE-), del cultivar Taita libre (TE-) o infectado con endófito seguro AR584 (TE+). Media $\pm$ EE.

Variable	PE+ creciendo en monocultivo	PE+ creciendo en presencia del material acompañante		
		PE-	TE+	TE-
BA (g/pl)	$6,26 \pm 0,26$	$7,32 \pm 1,21$	$5,11 \pm 0,45$	$4,74 \pm 1,17$
BR (g/pl)	$7,58 \pm 0,53$	$6,96 \pm 0,69$	$7,09 \pm 2,27$	$8,24 \pm 3,06$
BT (g/pl)	$13,81 \pm 1,70$	$14,89 \pm 3,13$	$11,93 \pm 4,46$	$12,89 \pm 6,40$
Panojas (n/pl)	$8,9 \pm 0,88$	$6,6 \pm 1,40$	$6,8 \pm 1,93$	$8,0 \pm 1,09$
ER	$0,20 \pm 0,02$	$0,20 \pm 0,01$	$0,15 \pm 0,05$	$0,19 \pm 0,03$
Semillas (n/pl)	$321,2 \pm 92,0$	$265,2 \pm 160,2$	$440,9 \pm 174,7$	$287,0 \pm 53,9$

Discusión

Diversos trabajos científicos han destacado el papel de la simbiosis hongo endófito-festuca alta, como promotora de una mayor tolerancia a estreses bióticos y abióticos en las plantas infectadas respecto a aquellas libres de endófito (Petigrosso *et al.*, 2021). Estas observaciones, explicarían la capacidad invasora de los genotipos infectados y su naturalización en pastizales Pampeanos, así como la resistencia a la invasión de otras especies vegetales en comunidades dominadas por festuca infectada (Richardson y Pysek, 2006).

Bajo las condiciones del presente experimento, no fue posible identificar estadísticamente un material de festuca inocuo capaz de disminuir la producción de biomasa y de semillas, número de panojas y esfuerzo reproductivo de las plantas de la población naturalizada infectada con endófito silvestre, donde los

rendimientos relativos indican que PE+ fue más competitivo y agresivo que PE- y TE-. Esta superioridad se explicaría por la presencia del hongo endófito que estimularía la producción de diferentes alcaloides y otros metabolitos funcionales como fitohormonas, compuestos fenólicos y antioxidantes que favorecerían el crecimiento y habilidad competitiva de las plantas de festuca alta (De Battista *et al.*, 1990; Qawasmeh *et al.*, 2012; Bastias *et al.*, 2017).

Por otro lado, PE+ fue menos competitivo en mezcla con TE+. Esta superioridad del cv. Taita podría explicarse por la presencia del endófito seguro AR584, dado que el material TE- presentó menor RR (Tabla 2). Así, en experimentos donde se evaluó la supervivencia y producción de biomasa aérea de diferentes cultivares de festuca alta infectados con endófitos, se ha

encontrado que, por ejemplo, la combinación del cultivar Jesup y el endófito AR542 presentó mayor supervivencia y rendimiento que las plantas libres o infectadas con endófito silvestre (Bouton *et al.*, 2002). En futuras investigaciones se debería considerar si el menor crecimiento de las plantas infectadas PE+ en mezcla con plantas TE+ observado en este experimento, guarda relación con una menor toxicidad del forraje.

En este experimento si bien la producción de semillas de las plantas infectadas puras (PE+) fue un 18 % mayor que creciendo en mezcla con PE- (Tabla 3), esta diferencia no fue significativa. Este resultado no coincide con antecedentes que reportan un efecto positivo de la simbiosis sobre la fecundidad de festuca alta (Siegel *et al.*, 1984; Rice *et al.*, 1990; De Battista y Costa, 1998; Petigrosso *et al.*, 2020b). Esto podría ser explicado por la variabilidad de genotipos en la población dado que es una especie alógama (Vega *et al.*, 2021; Palacios *et al.*, 2023). Este atributo es una de las cualidades que favorece la capacidad de invasión de las especies exóticas, como es el caso festuca alta (Sultan, 2000; Bufford y Hulme, 2021). Estudios recientes sugieren que el efecto del genotipo podría ser más importante que el generado por el endófito (Easton, 2007; Krauss *et al.*, 2007; Gundel *et al.*, 2012). En parte, esto podría deberse al fuerte control genético de las plantas sobre la concentración de micelio endofítico y los niveles de expresión de metabolitos secundarios

derivados de los endófitos, ya que estos compuestos afectan el grado de resistencia a los insectos y, posiblemente, la intensidad y preferencia del pastoreo (di Menna y Waller, 1986; Edwards *et al.*, 1993; Ball *et al.*, 1997; Cosgrove *et al.*, 2002). Además, el grado de beneficio mutuo entre el endófito y su hospedante, está condicionado por las variables climatológicas-geográficas y la disponibilidad de nutrientes (Hill *et al.*, 1990; Saikkonen *et al.*, 2006).

Dado que este experimento se realizó con restringida disponibilidad de N y P (solamente se aplicó al momento de la siembra), pero con adecuada disponibilidad hídrica, sería importante en futuros experimentos, evaluar la posible habilidad competitiva diferencial entre plantas infectadas y libres de endófito, bajo las condiciones ambientales propias de la región Pampeana, como eventos de sequías o inundación, suelos salinos y/o alcalinos con drenaje deficiente. En este sentido, deberían realizarse experimentos de más largo plazo que consideren, no sólo respuestas de ambos tipos de plantas a factores nutricionales y relaciones de competencia sino también, los efectos del consumo preferencial del ganado de plantas libres de endófito (Cosgrove *et al.*, 2002) y las posibles relaciones biológicas a nivel de la rizósfera que inciden en la economía de nutrientes (Petigrosso *et al.*, 2022). Por último, es necesario seguir estudiando la importancia de la variabilidad genética en las respuestas halladas.

Conclusiones

Bajo las condiciones del presente trabajo, el cultivar comercial Taita infectado con el endófito seguro AR584 fue más competitivo en lo que respecta a la producción de biomasa aérea que las plantas de la población naturalizada infectada con endófito silvestre. Este resultado es interesante, dado que la producción de biomasa aérea podría diluir el efecto tóxico de los

alcaloides. Por esta razón, futuros trabajos deberían continuar con el análisis de las interacciones entre este cultivar y la población naturalizada infectada, contemplando los niveles de alcaloides de la mezcla bajo diferentes condiciones ambientales propias de la región.

Agradecimientos

Agradecemos a la empresa Gentos S.A. por proveernos la semilla del cultivar comercial Taita libre e infectado con endófito seguro AR584.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de interés en el presente experimento.

Aprobación del Comité de Experimentación Animal: En esta investigación no se utilizaron animales.

Contribuciones de los autores: Lucas R. Petigrosso: formulación de las preguntas/ideas propias de la investigación, escritura protagónica del artículo, ejecución de experimento, obtención de muestras, procesamiento de datos y análisis e interpretación de resultados, responsabilidad por la integridad y coherencia del artículo. Hipólito Arata: ejecución de experimento, obtención de muestras, procesamiento de datos y análisis e interpretación de resultados. **María A. Marino:** formulación de las preguntas/ideas propias de la investigación, análisis e interpretación de resultados, revisión del borrador. **Osvaldo. R. Vignolio:** formulación de las preguntas/ideas propias de la investigación, ejecución de experimento, análisis e interpretación de resultados, revisión del borrador.



Financiación: El presente estudio se desarrolló en el marco del Proyecto 15/A306, AGR599/19 de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Editado por: Idupulapati Madhusudana Rao

Literatura Citada

- Bacon, C.W., J.K. Porter, J.D. Robbins and E.S. Luttrell. 1977. *Epichloe typhina* from toxic tall fescue grasses. *Applied and Environment Microbiology* 34: 576-581.
- Ball, O.J.P.; Barker, G.M.; Prestidge, R.A. and Lauren, D.R. 1997. Distribution and accumulation of the alkaloid peramine in *Neotyphodium lolii*-infected perennial ryegrass. *Journal of Chemical Ecology* 23: 1419-1434. <https://doi.org/10.1023/B:JOEC.0000006473.26175.19>
- Bastias, D.A., M.A. Martínez-Ghersa, C. L. Ballaré, and P.E. Gundel, P.E. 2017. *Epichloë* fungal endophytes and plant defenses: Not just alkaloids. *Trends in Plant Science* 22: 939-948. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.08.005>
- Belanger, F.C. 1996. A rapid seedling screening method for determination of fungal endophyte viability. *Crop Science* 36: 460-462.
- Bouton, J.H.; Latch, G.C.M.; Hill, N.S.; Hoveland, C.S.; McCann, M.A.; Watson, R.H.; Parish, J.A.; Hawkins, L.L. and Thompson, F.N. 2002. Reinfection of tall fescue cultivars with non-ergot alkaloid-producing endophytes. *Agronomy Journal* 94(3): 567-574. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.5670>
- Bufford, J.L. and Hulme, P.E. 2021. Increased adaptive phenotypic plasticity in the introduced range in alien weeds under drought and flooding. *Biological Invasions*, 23(8): 2675-2688. <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02532-5>
- Cheplick, G.P. 2007. Costs of fungal endophyte infection in *Lolium perenne* genotypes from Eurasia and North Africa under extreme resource limitation. *Environmental and Experimental Botany* 60: 202-210. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.10.001>
- Clay, K. and C. Schardl. 2002. Evolutionary origins ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. *American Naturalist* 160: 99-127. <https://doi.org/10.1086/342161>
- Cosgrove, G.P.; Anderson, C.B.; Phillot, M.; Nyfeler, D.; Hume, D.E.; Parson, A.J. and Lane, G.A. 2002. The effect of endophyte alkaloids on diet selection by sheep. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 62: 167-170.
- De Battista, J.P.; Bouton, J.H.; Bacon, C.W. and Siegel M. C. 1990. Rhizome and herbage production of endophyte-removed tall fescue clones and populations. *Agronomy Journal* 82: 651-654. <https://doi.org/10.2134/>
- De Battista, J.P. and Costa, M.C. 1998. Efecto de la infección endofítica sobre la producción de semilla de festuca alta. INTA. EEA Concepción del Uruguay: Entre Ríos, Argentina. Producción Animal. Informe Técnico. N°4. pp. 66-70.
- De Battista, J.P. 2005. *Neotyphodium* research and application in South America. In: C. Roberts *et al.* (Eds.). *Neotyphodium* in Cool Season Grasses. Blackwell Publishing. Ames, Iowa, USA. pp. 63-69.
- Decunata, F.A., L.I. Pérez, D. P. Malinowski, M.A. Molina-Montenegro and P.E. Gundel. 2021. A systematic review on the effects of *Epichloë* fungal endophytes on drought tolerance in cool-season grasses. *Frontiers in Plant Science* 12: 644731. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.644731>
- Di Menna, M.E. and Waller, J.E. 1986. Visual assessment of seasonal changes in amount of mycelium of *Acremonium loliae* in leaf sheaths of perennial ryegrass. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 29: 111-116. <https://doi.org/10.1080/00288233.1986.10417982>
- Doubi, B. T. S., K.I. Kouassi, K. L. Kouakou, K. K. Koffi, J. P. Baudoin and B.I.A Zoro. 2016. Existing competitive indices in the intercropping system of *Manihot esculenta* Crantz and *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley, *Journal of Plant Interactions* 11: 178-185.
- Easton, H.S. 2007. Grasses and *Neotyphodium* endophytes: co-adaptation and adaptive breeding. *Euphytica* 154: 295-306. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9187-3>
- Edwards, G.R.; Lucas, R. J. and Johnson, M. R. 1993. Grazing preference for pasture species by sheep is affected by endophyte and nitrogen fertility. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 55: 137-141. <https://doi.org/10.33584/jnzg.1993.55.2074>
- Evans, T.J., D.J. Blodgett and G. E. Rottinghaus. 2012. Fescue toxicosis. En: Gupta, R.C. (Ed.) *Veterinary toxicology*. (pp.1166-1180). Academic Press, San Diego, CA.
- Gentos. s.f. Festuca TAITA. [Archivo PDF]. Recuperado el 10 de diciembre de 2019 de <https://gentos.com.ar/productos/festuca-taita/>
- Gibson, D.J. and Newman, J.A. 2001. Biological floral of the British Isles: *Festuca arundinacea* Schreb. (F. elatior subsp. arundinacea (Schreb.) Hackel). *Journal of Ecology* 89: 304-324. <https://www.jstor.org/stable/3072204>

- Gundel, P.E.; Garibaldi, L.A.; Tognetti, P.M.; Aragón, R.; Ghersa, C.M. and Omacini, M. 2009. Imperfect vertical transmission of the endophyte *Neotyphodium* in exotic grasses in grasslands of the Flooding Pampa. *Microbial Ecology* 57: 740-748. <https://doi.org/10.1007/s00248-008-9447-y>
- Gundel, P.E.; Martínez-Ghersa, M.A.; Omacini, M.; Cuyeu, R.; Pagano, E.; Ríos, R. and Ghersa, C. M. 2012. Mutualism effectiveness and vertical transmission of symbiotic fungal endophytes in response to host genetic background. *Evolutionary Applications* 5(8): 838-849. <https://doi.org/10.1111/2Fj.1752-4571.2012.00261.x>
- Gundel, P.E.; Pérez, L.I.; Helander, M. and Saikkonen, K. 2013. Symbiotically modified organisms: nontoxic fungal endophytes in grasses. *Trends in Plant Science* 18: 420-427. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.03.003>
- Graff, P.; Gundel, P.E.; Salvat, A.; Cristos, D. and Chaneton, E.J. 2020. Protection offered by leaf fungal endophytes to an invasive species against native herbivores depends on soil nutrients. *Journal of Ecology* 108(4):1592-1604. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13371>
- Hernández-Agramonte, I.M.; Semmartin, M.; Omacini, M.; Durante, M., Gundel, P.E. and De Battista, J. 2018. A fungal endophyte of a palatable grass affects preference of large herbivores. *Austral Ecology* 43: 172-179. <https://doi.org/10.1111/aec.12554>
- Hill, N.S.; Stringer, W.C.; Rottinghaus, G.E.; Belesky, D.P.; Partot, W.A. and Pope, D.D. 1990. Growth, morphological and chemical component responses of tall fescue to *Acremonium coenophialum*. *Crop Science* 30: 156-161. <https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010034x>
- Hopkins, A.A.; Young, C.A.; Panaccione, D.G.; Simpson, W.R.; Mittal, S. and Bouton, J.H. 2010. Agronomic performance and lamb health among several tall fescue novel endophyte combinations in the south-central USA. *Crop Science* 50:1552-1561. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.08.0473>
- Johnson, L.; De Bonth, A.; Briggs, L.; Caradus, J.; Finch, S.; Fleetwood, D.; Fletcher, L.; Hume, D.; Johnson, R.; Popay, A.; Tapper, B.; Simpson, W.; Voisey, C. and Card, S. 2013. The exploitation of epichloae endophytes for agricultural benefit. *Fungal Diversity* 60: 171-188. <https://doi.org/10.1007/s13225-013-0239-4>
- Krauss, J.; Härrä, S. A.; Bush, L.; Husi, R.; Bigler, L.; Power, S. A. and Müller, C. B. 2007. Effects of fertilizer, fungal endophytes and plant cultivar on the performance of insect herbivores and their natural enemies. *Functional Ecology* 21(1):107-116. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01216.x>
- Leuchtmann, A., C.W. Bacon, C.L. Schardl, J.F. Jr. White and M. Tadych. 2014. Nomenclatural realignment of *Neotyphodium* species with genus *Epichloë*. *Mycology* 106: 202-215.
- Lugtenberg, B.J.J., J.R. Caradus, and L.J. Johnson. 2016. Fungal endophytes for sustainable crop production. *Microbiology Ecology* 92:1-17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00267>
- Mazzanti, A.; Castaño J.; Sevilla, C. and Orbea, J. 1992. Características agronómicas de especies y cultivares de gramíneas y leguminosas forrajeras adaptadas al sudeste de la Provincia de Buenos Aires. INTA. CRABAS. EEA Balcarce. 73 p.
- Palacios, N. S.; Affinito, M. A.; Varea, I. and Andres, A. N. 2023. Variabilidad en caracteres de producción de semilla de poblaciones de festuca alta. *Revista Argentina de Producción Animal* 47, Supl. 1: 78.
- Petigrosso, L.R.; Colabelli, M.N.; Fernández, O.N.; Ispizúa, V. and Cendoya, M.G. 2013. Incidence of the endophyte fungus *Neotyphodium coenophialum* in pastures of tall fescue differing in age and soil characteristics. *African Journal of Agricultural Research* 8: 2655-2662.
- Petigrosso, L.R.; Gundel, P.E.; Colabelli, M.N. Fernández, O.N. and Assuero, S.G. 2019. Hongos endófitos en festuca alta: del problema a las soluciones. *Revista de Investigación Agropecuaria* 45: 292-303.
- Petigrosso, L. R.; García, M.; Vignolio, O.R.; Salvat, A.; Cristos, D. and Castaño, J. 2020a. Plant interaction and ergovaline concentration in mixture of *Lotus tenuis* and infected *Schedonorus arundinaceus*. *Ecología Austral* 30:165-174. <https://doi.org/10.25260/EA.20.30.1.0.944>
- Petigrosso, L.R.; Navarro, D.; Assuero, S.G.; Vignolio, O.R.; Castaño, J.A. and Colabelli, M.N. 2020b. Respuesta a la frecuencia de defoliación de plantas de festuca alta de una población naturalizada infectada con endófito silvestre y un cultivar comercial libre. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. 46(2), 195-202.
- Petigrosso, L.R.; Martínez Verner, J. and Fernández, O.N. 2021. Habilidad competitiva de plantas de festuca alta libres e infectadas con endófito bajo cosecha. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 29(1-2): 37-45. <https://doi.org/10.53588/alpa.291205>
- Petigrosso, L.R.; Commatteo, J.G.; Fuertes, G.; and Covacevich, F. 2022. Interacción entre hongos endófitos y micorrícicos en *Festuca arundinacea* en respuesta a la fertilización fosfatada. *Revista Ciencia del Suelo* 40 (2): 159-166.

- Qawasmeh, A.; Obied, H.K.; Raman, A. and Wheatley, W. 2012. Influence of fungal endophyte infection on phenolic content and antioxidant activity in grasses: interaction between *Lolium perenne* and different strains of *Neotyphodium lolii*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60(13): 3381-3388. <https://doi.org/10.1021/jf204105k>
- R Core Team. 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <https://www.R-project.org>
- Rice, J.S.; Pinkerton, B.W.; Stringer, W.C. and Undersander, D.J. 1990. Seed production in tall fescue as affected by fungal endophyte. *Crop Science* 30: 1303-1305.
- Richardson, D.M. and P. Pysek. 2006. Plant invasions: merging the concepts of species invasiveness and community invisibility. *Progress in Physical Geography* 30: 409-431. <https://doi.org/10.1191/0309133306pp490pr>
- Roitman, G. and P. Preliasco. 2018. Guía de reconocimiento de herbáceas de la Pampa Deprimida. Buenas prácticas para una ganadería sustentable de pastizal. Características para su manejo. Disponible en: https://www.avesargentinas.org.ar/sites/default/files/kit_pampas_guia_de_reconocimiento_de_herbaceas_de_la_pampa_deprimida_segunda_edicion.pdf. Último acceso: marzo de 2021.
- Saha, C.D.; Jackson, M.A. and Johnson-Cicalese, J.M. 1988. A rapid staining method for detection of endophytic fungi in turf and forage grass. *Phytopathology* 78: 237-239.
- Saikkonen, K.; Lehtonen, P.; Helander M.; Koricheva J. and Faeth S. 2006. Model systems in ecology: dissecting the endophyte-grass literature. *Trends in Plant Science* 11: 428-433. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.07.001>
- Schardl, C.L. 2009. Fungal endophytes in *Lolium* and *Festuca* species. In: T. Yamada & G. Spangenberg (Eds.). *Molecular Breeding of Forage and Turf*. Springer, pp. 285-298. https://doi.org/10.1007/978-0-387-79144-9_26
- Scheneiter, J.O.; Kaufmann I.I.; Ferreyra, A.R. and Llorente, R.T. 2016. The herbage productivity of tall fescue in the Pampas region of Argentina is correlated to its ecological niche. *Grass and Forage Science* 71: 403-412. <https://doi.org/10.1111/gfs.12184>
- Siegel, M.R.; Johnson, M. C.; Varney, D. R.; Nesmith, W.C; Buc, R. C.; Bush, L.; Burrus, F.; Jones, P.B. and Boling, J. K. 1984. A fungal endophyte in tall fescue: Incidence and dissemination. *Phytopathology* 74: 932-937.
- Sultan, S. E. 2000. Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends in Plant Science*, 5(12): 537-542. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(00\)01797-0](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(00)01797-0)
- Vega, D.J.; di Santo, H.E.; Ferreira, V.A.; Castillo, E.A.; Bonamico, N.C. and Grassi, E.M. 2021. Evaluación fenotípica de poblaciones de *Festuca arundinacea* Schreber naturalizadas en ambientes subhúmedos semiáridos. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2).
- Weigelt, A. and P. Jolliffe. 2003. Indices of plant competition. *Journal of Ecology* 91: 707-720.
- Young, C. A.; Hume, D. E. and McCulley, R.L. 2013. Forages and pastures symposium: fungal endophytes of tall fescue and perennial ryegrass: pasture friend or foe? *Journal of Animal Science* 91(5): 2379-2394. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5951>