

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

SOBREVIVENCIA ESTIVAL Y DINÁMICA POBLACIONAL DE CULTIVARES
DE *FESTUCA ARUNDINACEA* CON INCLUSIÓN DEL HONGO
ENDÓFITO AR584

por

Guillermo HERKEN

Ignacio OLANO

Rodrigo RUETE

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2019

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. (PhD.) Walter Ayala

Ing. Agr. (Dr.) Fernando Lattanzi

Ing. Agr. (PhD.) Pablo Boggiano

Fecha: 07 de marzo de 2019

Autores:

Guillermo Herken

Ignacio Olano

Rodrigo Ruete

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a nuestras familias las cuales nos han apoyado desde el comienzo de esta hermosa carrera. También a Marcela, por su apoyo durante esta etapa y contribución en el trabajo práctico.

A nuestro tutor Walter Ayala, un guía permanente a lo largo de todo este trabajo.

A todo el equipo de INIA Treinta y Tres, en especial al equipo de pasturas, Caco, Darío, Jhon, Fernando y Andrés.

A Belky Mesones, por su apoyo en correcciones.

A Sully Toledo, por su amabilidad y buena disposición cada vez que la consultamos.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. ASPECTOS GENERALES SOBRE EL USO DE <i>FESTUCA</i> <i>ARUNDINACEA</i>	2
2.1.1. <u>Establecimiento</u>	2
2.1.2. <u>Tipos de cultivares de festuca</u>	3
2.1.2.1. Cultivares de <i>Festuca arundinacea</i> en Uruguay.....	3
2.1.2.2. Cultivares bajo estudio.....	4
2.2. <u>PERSISTENCIA DE FESTUCA</u>	6
2.2.1. <u>Aspectos generales</u>	6
2.2.2. <u>Sobrevivencia estival</u>	7
2.3. <u>EL MANEJO DE LA PASTURA Y LOS PROCESOS DE</u> <u>COMPENSACIÓN</u>	8
2.4. <u>LOS HONGOS ENDÓFITOS COMO HERRAMIENTA PARA</u> <u>MEJORAR LA PERSISTENCIA</u>	10
2.5. <u>COMENTARIOS FINALES</u>	14
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	16
3.1. <u>SITIO EXPERIMENTAL</u>	16
3.2. <u>EXPERIMENTO I: SOBREVIVENCIA ESTIVAL DE</u> <u>DISTINTOS CULTIVARES DE FESTUCA</u>	17
3.2.1. <u>Determinaciones</u>	17
3.2.2. <u>Análisis estadístico</u>	18
3.3. <u>EXPERIMENTO II: EVOLUCIÓN DE LA DENSIDAD DE</u> <u>PASTURAS PURAS DE FESTUCAS BAJO PASTOREO</u>	18
3.3.1. <u>Determinaciones</u>	19
3.3.2. <u>Análisis estadístico</u>	19
4. <u>RESULTADOS</u>	21
4.1. <u>RESULTADOS EXPERIMENTO I: SOBREVIVENCIA</u> <u>ESTIVAL DE DISTINTOS CULTIVARES DE FESTUCA</u>	21
4.1.1. <u>Variables agrometeorológicas</u>	21
4.1.2. <u>Niveles de infección con el hongo endófito AR584</u>	24
4.1.3. <u>Experimento Ia. sobrevivencia estival de macollos de festuca</u> <u>fortuna</u>	25

4.1.4. <u>Experimento Ib. sobrevivencia estival de macollos de festuca aurora</u>	26
4.2. EXPERIMENTO II: EVOLUCIÓN DE LA DENSIDAD DE PASTURAS PURAS DE FESTUCAS BAJO PASTOREO.....	28
4.2.1. <u>Variabes agrometeorológicas</u>	28
4.2.2. <u>Niveles de infección con el hongo endófito en los diferentes cultivares de festuca</u>	30
4.2.3. <u>Experimento IIa. evolución de la densidad de pasturas de festuca fortuna y kentucky 31</u>	30
4.2.3.1. Carga animal manejada.....	30
4.2.3.2. Relación entre la altura de forraje remanente post pastoreo en verano y la densidad otoñal de macollos en los cultivares de festuca.....	31
4.2.3.3. Evolución de la densidad y peso de macollos en los cultivares de festuca.....	33
4.2.3.4. Relación entre densidad y peso de macollos/m ² por variedad en cada año.....	34
4.2.3.5. Relación entre la densidad de macollos/m ² y el peso individual de los mismos.....	35
4.2.4. <u>Experimento IIb. evolución de la densidad de pasturas de festuca aurora</u>	38
4.2.4.1. Carga animal manejada.....	38
4.2.4.2. Relación entre la altura de forraje remanente post pastoreo en verano y la densidad otoñal de macollos en los cultivares de festuca.....	39
4.2.4.3. Evolución de la densidad y peso de macollos en los cultivares de festuca.....	40
4.2.4.4. Relación entre densidad y peso de macollos/m ² por variedad en cada año.....	40
4.2.4.5. Relación entre la densidad de macollos/m ² y el peso individual de los mismos.....	41
5. <u>DISCUSIÓN</u>	44
6. <u>CONCLUSIONES</u>	52
7. <u>RESUMEN</u>	53
8. <u>SUMMARY</u>	54
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	55
10. <u>ANEXOS</u>	65

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Producción de forraje anual y acumulada de los cultivares de festuca.....	4
2. Análisis de suelos previo a la siembra por bloque a distintas profundidades.....	16
3. Niveles de infección promedio del hongo endófito AR584 en 4 cultivares de festuca.....	24
4. Supervivencia estival de macollos en 2 cultivares de festuca (FO y FO+) como consecuencia de la infección del endófito, la intensidad de defoliación y su interacción.....	26
5. Supervivencia estival de macollos en 2 cultivares de festuca (AU y AU+) como consecuencia de la infección del endófito la intensidad de defoliación y su interacción.....	28
6. Niveles de infección promedio del hongo endófito en 5 cultivares de festuca entre 2013 y 2017.....	30
7. Resumen sobre reportes de diferentes experimentos que miden la supervivencia estival de festuca.	45
Figura No.	
1. Evolución de las temperaturas máximas y mínimas en el período experimental.....	21
2. Temperaturas del aire máximas, mínimas y promedios para los períodos P1-P6, a nivel del césped y aire.....	22
3. Número de horas con temperaturas superiores a 35°C y entre 30 y 35°C en el aire y césped en 6 períodos entre diciembre 2016 y mayo 2017.....	23
4. Balance hídrico mensual para el período experimental diciembre	

2016 a mayo 2017.....	24
5. Balance hídrico mensual de la serie noviembre 2013 a noviembre 2017.....	29
6. Temperaturas medias máximas, mínimas y promedios en verano..	29
7. Carga animal para 3 cultivares de festuca evaluados durante 4 veranos.....	31
8. Altura del forraje remanente post pastoreo en verano y densidad de macollos en el otoño posterior, en 3 cultivares de festuca en el período 2013-2017.....	32
9. Evolución de la densidad de macollos/m ² y peso de macollos/m ² en fortuna con y sin endófito y kentucky 31.....	34
10. Comparación de la densidad de macollos/m ² y peso de macollos/m ² entre tratamientos dentro de cada año.....	34
11. Evolución de la densidad de macollos y peso de macollo individual por variedad.....	35
12. Comparación de la densidad de macollos y peso de macollo individual entre variedades en cada año.....	36
13. Regresión entre el número y peso individual de macollos.....	37
14. Carga animal para 2 cultivares de festuca evaluados durante 3 veranos.....	38
15. Altura del forraje remanente post pastoreo en verano y densidad de macollos en el otoño posterior, en 2 cultivares de festuca.....	39
16. Evolución de la densidad de macollos/m ² y peso de macollos/m ² en aurora con y sin endófito.....	40
17. Comparación de la densidad de macollos/m ² y peso de macollos/m ² entre tratamientos dentro de cada año.....	41
18. Evolución de la densidad de macollos y peso de macollo individual por variedad.....	41
19. Comparación de la densidad de macollos y peso de macollo individual entre variedades en cada año.....	42

20. Regresión entre el número y peso individual de macollos.....	43
21. Supervivencia estival en aurora y fortuna en cultivares inoculados y sin inocular.....	46
22. Supervivencia estival en aurora y fortuna según intensidad de corte.....	47
23. Relación entre la altura de remanente en verano y el número de macollos en otoño.....	49
24. Regresión entre el número y peso individual de macollos para el total de los años.....	50
25. Regresión de la densidad de macollos vs. peso individual y producción de forraje.....	51

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción animal en Uruguay tienen en su mayoría las pasturas como base alimenticia de los rodeos, ya sea campo natural, mejoramientos, verdeos o praderas plurianuales, dependiendo del grado de intensificación del establecimiento.

Las pasturas perennes en general tienen un costo por unidad de materia seca menor que otras especies forrajeras (Chapman et al., 2014), además de contribuir a la mejora de características físicas del suelo y la sostenibilidad del agroecosistema. Este trabajo de investigación enfatiza sobre la utilización de *Festuca arundinacea*, una especie muy reconocida en zonas templadas y que en el país es la gramínea perenne invernal más utilizada por los productores (Formoso, 2010).

Se generó información para un mejor manejo de esta especie, pudiéndose así mejorar los indicadores físicos y aumentar la rentabilidad de la producción. Uno de los problemas a resolver es la reducida persistencia de las praderas perennes en relación a la vida útil que podrían tener. Para analizar esto, se focaliza en la sobrevivencia de macollos en un período crítico como el verano, sabiendo que entre otros factores es afectada por la variabilidad de condiciones climáticas, tales como sequía y altas temperaturas, y también por el manejo realizado.

Para este análisis, se evaluaron distintas intensidades de utilización, simulando manejos contrastantes que se podrían aplicar en producción, distintos cultivares, así como también la utilización de cultivares con presencia de hongos endófitos benéficos. Paralelamente se incorporó al análisis el estudio de un caso de pasturas puras en base a festuca de alta producción donde se han generado distintos indicadores de manejo para el período estival.

En suma, el objetivo de este trabajo es aportar información para mejorar las recomendaciones de manejo disponibles en festuca, con un enfoque aplicado para que puedan ser aprovechadas por parte de técnicos y productores.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ASPECTOS GENERALES SOBRE EL USO DE *FESTUCA ARUNDINACEA*

Festuca arundinacea es una especie perenne de estación fría valorada en todo el mundo por su adaptación a una amplia gama de condiciones edáficas (Hoveland, 2009), su productividad y su valor nutritivo potencialmente alto (Callow et al., 2003). Debido a su característica de producir forraje temprano en otoño y fines de invierno, puede ser clasificada como una pastura precoz de vida larga (Carámbula, 1977). Las temperaturas óptimas para el crecimiento de festuca oscilan entre 20 y 25°C, disminuyendo un 20% el crecimiento a 30°C. En climas subtropicales las tasas de evapotranspiración son típicamente más altas que la precipitación, creando un déficit de agua que puede ser perjudicial para la persistencia de la festuca (Easton et al. 1994, Milne 2009). En contraparte rara vez la persistencia es un problema en zonas templadas y climas húmedos (Easton et al. 1994, Lattanzi et al. 2007).

2.1.1. Establecimiento

En pasturas perennes, la persistencia depende fuertemente de la siembra, establecimiento y la supervivencia (Jáuregui et al., 2016).

Una de las principales limitantes para la adopción de festuca es su lento establecimiento en comparación con el raigrás perenne (Brock, 1973), particularmente a bajas temperaturas (Hill et al., 1985). En el campo, un rápido establecimiento de plántulas es importante para asegurar que las mismas no sean desplazadas por malezas u otras especies sembradas y para evitar pérdidas de plántulas por desecación o ataque de plagas (Raeside et al., 2012a).

Como en la mayoría de las gramíneas, la profundidad óptima de siembra para festuca es de 10 a 15 mm (Brock 1973, Raeside et al. 2012b). Una siembra más profunda puede ser beneficiosa durante condiciones secas para minimizar la exposición a la evaporación cerca de la superficie del suelo (Raeside et al., 2012b), pero se debe tener cuidado para asegurar que el suelo no cree una barrera mecánica para las plántulas en emergencia, si se siembra por debajo de 30 mm probablemente se agoten las reservas de energía antes de la emergencia en la superficie del suelo.

El control de malezas en los lugares donde se va a sembrar festuca es esencial, el mismo debería comenzar con suficiente antelación a la siembra para controlar los bancos de semillas de malezas almacenadas en el suelo (Charles et al., 1992).

Se ha estudiado el papel de los hongos simbioses en el establecimiento de plántulas y estos muestran que mejoran el establecimiento de nuevos individuos y la diseminación de nuevas especies a otros hábitats (van der Heijden, 2004).

La festuca tolera el pastoreo continuo mejor que otras especies, entregando la mejor performance en rendimiento y calidad con pastoreos rotativos, que como norma general deben realizarse cuando la pastura alcanza los 15-18 cm de altura y dejando un remanente de 5 cm, si se dilata el pastoreo se reduce la calidad del forraje. El manejo de primavera debe prevenir la encañazón mediante pastoreos más intensos y frecuentes. Por el contrario, el manejo de verano debe ser cuidadoso evitando pastorear hasta que la pastura alcance 15-18 cm y dejando un remanente de 7-10 cm. En periodos de sequía se debería retirar el pastoreo (Ayala et al., 2010).

Salvo en suelos arenosos, crece muy bien en suelos medios, pesados y húmedos. Debe sembrarse a partir de mediados de marzo utilizando como mínimo densidades de 10-12 kg/ha. La festuca en general tiene implantación lenta y las siembras tardías con suelos fríos reducen su velocidad de implantación y retrasan el primer pastoreo. Cabe destacar que posee la característica de asociarse bien con todas las leguminosas (Ayala et al., 2010), aunque mantener adecuados balances en mediano plazo es dificultoso.

Cada macollo mantiene tres hojas vivas, de manera que al desarrollar una cuarta hoja la primera muere (Colabelli et al., 1998). Debido a esto, para Borrajo (2015), la mejor forma de evaluar el forraje producido es realizando una frecuencia de cortes o pastoreos que coincidan con el tiempo que tardan en desarrollarse tres hojas (aproximadamente 400°Cd acumulados, con temperatura base de 4°C).

2.1.2. Tipos de cultivares de festuca

La festuca presenta dos grupos de genotipos de distinto origen, con diferencias en la producción estacional del forraje. Las denominadas festucas continentales son originarias de Europa y EEUU, y presentan un mayor crecimiento en primavera y verano. Por su parte, las festucas mediterráneas son originarias de África del Norte, muestran un mayor crecimiento en otoño e invierno, además de presentar hojas más estrechas que las continentales (Hopkins et al., 2009). Los cultivares continentales están más arraigados que otras especies forrajeras (Garwood y Sinclair, 1979) y no se vuelven latentes en verano (Hopkins et al., 2009), lo que significa que son capaces de usar agua, ya sea a partir de la lluvia de verano o del perfil del suelo para permitir la producción de alimento durante todo el año.

Por otra parte, hay cultivares de festuca continental que tienen hongos endófitos no tóxicos, con estos se ha demostrado un beneficio de la persistencia y productividad de la planta sin producir alcaloides tóxicos para el ganado (Burns et al., 2006).

2.1.2.1. Cultivares de *Festuca arundinacea* en Uruguay

Al igual que a nivel mundial en Uruguay son más utilizados los cultivares de festuca continentales (Ayala et al., 2010). En el país existe por parte de INASE una

estimación de uso de semilla de festuca de 1.376.000 kg promedio por año entre 2005 y 2017, con un valor mínimo de 571.574 kg en el año 2009 y un máximo de 2.407.801 para el año 2015, lo cual significa una participación del 5,8% dentro del total de las semillas forrajeras comercializadas (el promedio anual de semillas comercializadas para la misma serie de años es de 23.088.768 kg). En comparación con la segunda gramínea perenne invernal más utilizada dentro de los mismos años, *Dactylis glomerata*, la semilla de festuca se utiliza un 90 % más (Castro et al., 2015). En cuanto a la participación de los cultivares Aurora y Fortuna dentro del mercado nacional de semillas no fue posible acceder datos objetivos debido a que son cultivares protegidos hasta el año 2031. Se presentan los datos productivos a través de la evaluación de cultivares INIA e INASE, en el cual tomando como testigo la variedad Estanzuela Tacuabé (base 100%) se vio que la variedad INIA Aurora supera en producción (kg MS/ha) total de los 3 años por un 13% a INIA Fortuna y un 9% a las otras dos variedades evaluadas. Esta superioridad de Aurora sobre Fortuna se vio a lo largo de los 3 años, siendo 14%, 11% y 16% superior en el 1er., 2do. y 3er. año respectivamente. Cabe destacar la caída en general de la producción en el 3er. año (cuadro No.1).

Cuadro No. 1. Producción de forraje (kg MS ha⁻¹ y %) anual y acumulada de los cultivares de festuca, en un ensayo sembrado en el año 2013.

Cultivares	1er. año 2013		2do. año 2014		3er. año 2015		Total 3 años	
	kg MS ha	%	kg MS ha	%	kg MS ha	%	kg MS ha	%
INIA Aurora	11.165	110	16.378	108	6.124	114	33.667	110
Quantum	10.713	106	14.329	95	5.626	105	30.668	100
Estanzuela Tacuabé (T)	10.138	100	15.132	100	5.383	100	30.653	100
INIA Fortuna	9.753	96	14.668	97	5.297	98	29.718	97

Fuente: Castro et al. (2015).

2.1.2.2. Cultivares bajo estudio

- *Festuca arundinacea* cv. aurora

INIA Aurora es un cultivar de festuca obtenido en INIA La Estanzuela luego de tres ciclos de selección sobre distintos materiales tempranos con énfasis en rendimiento y sanidad foliar (Ayala et al., 2010). Este cultivar corresponde a una festuca muy temprana que florece a fines de agosto. Es de hábito intermedio y más flexible que Estanzuela Tacuabé. El carácter distintivo de este cultivar es su rápida implantación, consiguiendo una muy buena producción invernal al primer año.

Tiene alto rendimiento en todas las estaciones, el mismo es 7% superior a Estanzuela Tacuabé, teniendo en la distribución estacional incrementos importantes en

primavera y verano (Ayala et al., 2010). Además, presenta la característica de ser flexible y tener una excelente sanidad, con una alta resistencia a roya, por lo cual aumenta la aceptabilidad y utilización del forraje por parte del animal (Gutiérrez y Calistro, 2013)

Tiene una muy buena persistencia la cual se acentúa a partir del 3er. y 4°. año de la pastura donde aumenta su brecha de productividad sobre otros cultivares (Gutiérrez y Calistro, 2013).

INIA Aurora es recomendada como componente de praderas perennes donde se prioriza el rendimiento todo el año, la rusticidad y la persistencia. Es ideal para explotaciones intensivas que puedan sacar provecho de su mayor potencial de rendimiento. Asimismo, por su mayor capacidad de crecer en verano es indicada para aquellas situaciones donde la infestación de gramilla es un problema y dado su buen comportamiento bajo altas temperaturas estivales sería muy indicada para la zona Norte (Ayala et al., 2010).

- *Festuca arundinacea* cv. fortuna

INIA Fortuna es un cultivar de festuca obtenido en INIA La Estanzuela luego de cinco ciclos de selección con énfasis en calidad del forraje (DMO, FDN y PC), flexibilidad y sanidad foliar. El carácter distintivo de este cultivar es su alta calidad (Ayala et al., 2010).

Es una festuca tardía que florece 18 días después que Estanzuela Tacuabé y 31 días después que Quantum o INIA Aurora. Es de hábito intermedio con buen macollaje (Ayala et al., 2010).

Este cultivar presenta rendimiento de forraje superior a otros cultivares tardíos disponibles en el mercado y similar a Estanzuela Tacuabé en todas las estaciones, con una excelente sanidad y un aporte de forraje de calidad a fines de primavera. Este mayor rendimiento se combina con excelente resistencia a roya (Ayala et al., 2010).

Esta festuca es sobresaliente por su calidad, ya que comparada con Estanzuela Tacuabé tiene en promedio dos unidades más de digestibilidad (DMO), menos fibra (FDN) y más proteína (PC). La alta calidad también está asociada con mayor flexibilidad lo cual redundo en alta palatabilidad y valor nutritivo (Ayala et al., 2010).

Combina junto a su alta calidad los más altos rendimientos de forraje para una festuca de floración tardía (Ayala et al., 2010). Esta alta calidad la hace especialmente indicada para las praderas perennes en aquellas explotaciones donde el valor nutritivo es prioritario, tales como lechería e invernada intensiva (Gutiérrez y Calistro, 2013). Sus dos unidades de mayor digestibilidad deberían reflejarse en un incremento del 9% en producto animal. Presenta alta compatibilidad con leguminosas y muy buena adaptación a sistemas de producción intensivos donde la calidad es un factor determinante. A esto

se agrega la excelente sanidad foliar y flexibilidad que le permite mantener muy buena palatabilidad todo el año. Por su capacidad de crecer en verano y al igual que lo manifestado para Aurora, es un cultivar que puede competir en situaciones de infestación con gramilla (Ayala et al., 2010).

2.2. PERSISTENCIA DE FESTUCA

2.2.1. Aspectos generales

La festuca es una de las especies más sembradas en las praderas perennes del mundo, su persistencia raramente es un problema en climas templados y húmedos (Easton et al. 1994, Lattanzi et al. 2007). Aunque en ambientes más cálidos y secos esto puede ser un problema (Lowe et al., 1999) pero en menor medida que para raigrás perenne (Hannaway et al., 2009).

La persistencia de una pradera es de suma importancia en los sistemas de producción animal a pasto. Las pasturas perennes en general tienen un costo por unidad de materia seca menor que otros recursos forrajeros (Chapman et al., 2014). Además, mejoran la fertilidad del suelo y pueden ayudar a controlar la lixiviación y la erosión de nutrientes (McCallum et al., 2004), contribuyendo así a la sostenibilidad de los agroecosistemas. Estos beneficios se vuelven menos evidentes si las especies no son persistentes (Jáuregui et al., 2016).

La falta de persistencia, definida como una disminución en la presencia física de las plantas de las especies sembradas (Parsons et al., 2011), se asocia con el fracaso de la especie para sobrevivir o con un crecimiento reducido debido a un clima adverso o al manejo inadecuado (Chapman et al., 2011). En pasturas perennes, la persistencia depende en gran medida del establecimiento y la supervivencia durante la etapa vegetativa. Por lo tanto, lograr la densidad adecuada de plantas a fines de la primavera y al comienzo del verano es crucial cuando la tasa de muerte de los macollos tiende a alcanzar su punto máximo (Valentine y Matthew, citados por Jáuregui et al., 2016).

El manejo del pastoreo es una forma efectiva de manipular la densidad de plantas. El pastoreo aliviado de primavera generalmente resulta en el desarrollo de una alta proporción de macollos en floración y retrasa la aparición de los tallos hasta mediados de la primavera, situación que puede comprometer la sobrevivencia de macollos vegetativos (Matthew, 2002).

En comparación con el pastoreo aliviado, se ha demostrado que el pastoreo intenso por un corto período de tiempo durante la primavera promueve mayores densidades de tallos en las pasturas (Sheath y Boom, 1985). Esta defoliación táctica, tiene como objetivo reducir la proporción de macollos reproductivos, lo cual se ha asociado con una mejor longevidad de la pastura (Davies, 1988).

En raigrás perenne, la forma de persistencia es descripta como reproductiva (Matthew et al., 1993), lo que significa que la misma se basa en la producción de macollos fértiles. En festuca, Lafarge (2006) encontró un aumento en la densidad de macollos vegetativos muy cerca de los macollos reproductivos cortados en anthesis; un efecto de tallo madre similar al observado para el raigrás. Según Scheneiter y Améndola (2012), la festuca tiene una estrategia de persistencia con una fuerte dependencia del desarrollo reproductivo. Se caracteriza por la renovación de los primeros tallos, los cuales son remplazados por otros que se originan en la base de los macollos florecidos (Matthew et al., 2000) y por las fluctuaciones estacionales (Gastal y Matthew, 2005).

En comparación con el raigrás, la información sobre festuca es más escasa (Jáuregui et al., 2016). En esta especie, los macollos reproductivos aparecen durante un período de tiempo más estrecho, a comienzos de la primavera (Hare, 1992) y constituyen una proporción menor de la población de los tallos que en el raigrás (Matthew et al., 1993).

2.2.2. Sobrevivencia estival

La festuca es una especie templada donde su persistencia es deteriorada por estreses bióticos y abióticos. El calor y la sequía en verano, junto con un manejo deficiente del pastoreo, son causas comunes de la restricción de la vida útil de la especie (Milne, 2009).

Si bien todas las estaciones del año son importantes en lo que a dinámica de reclutamiento y muerte de macollos se refiere, es de especial importancia la primavera y verano dado que en estas estaciones la tasa de recambio de macollos es elevada (Matthew et al., 2013). En la primavera el desarrollo reproductivo altera los procesos normales de aparición y muerte de macollos. Asimismo, la primavera y el verano constituyen un período de vulnerabilidad a la sobrevivencia de macollos ante variaciones drásticas de los patrones climáticos, principalmente situaciones de déficit hídrico y elevadas temperaturas en verano (Chapman et al., 2011).

Du et al. (2008) sugirieron que el estrés térmico es más perjudicial para las reacciones fotoquímicas y la estabilidad de la membrana celular que el estrés por sequía para la festuca.

Las temperaturas óptimas para el crecimiento de festuca oscilan entre 20 y 25°C; a 30°C se da el 80% del crecimiento máximo; a 35°C es menos del 10% del crecimiento (Jáuregui et al., 2016). En veranos muy calurosos en los cuales las tasas de evapotranspiración suelen ser más altas que las precipitaciones, se crea un déficit de agua, que puede ser perjudicial para la persistencia de la festuca (Easton et al. 1994, Milne 2009). La evidencia experimental muestra que bajo pastoreo frecuente e intensivo, la productividad del verano y la persistencia de festuca pueden verse gravemente

afectadas (Mattiuda et al., citados por Jáuregui et al., 2016) una situación que puede dar lugar a la rápida aparición de malezas (Formoso, 2010).

Muchos procesos fisiológicos se interrumpen durante una sequía o estrés por calor, incluida la fotosíntesis, la respiración, la síntesis de hormonas y la absorción de agua y nutrientes (Huang, 2004). La fotosíntesis es uno de los procesos fisiológicos más sensibles a las altas temperaturas y al estrés por sequía, en particular las reacciones fotoquímicas. Aunque la tolerancia al estrés involucra muchos factores diferentes, la estabilidad de la membrana celular es un requisito básico para el mantenimiento de las funciones fisiológicas en las plantas. La pérdida de integridad de la membrana celular inducida por estrés se asocia con un flujo de solutos, y por lo tanto, una cuantificación relativa de la fuga de electrolitos de las células o tejidos durante el estrés hídrico o por calor puede usarse como una medida de lesión celular (Blum y Ebercon, 1981). Según Du et al. (2008), comprender los cambios fisiológicos en la sequía y el estrés por calor puede mejorar la comprensión de los rasgos fisiológicos asociados a estas condiciones.

La fertilización también puede ser un factor clave que afecta la sobrevivencia de los tallos, habiéndose demostrado que el suministro de nitrógeno induce mayores tasas de aparición de tallos aumentando la cobertura del suelo (Harris et al., 1996). En festuca, los efectos positivos del agregado de nitrógeno en otoño son conocidos (Scheneiter y Améndola, 2012), pero se sabe poco sobre el efecto del nitrógeno aplicado durante la primavera. Según los mismos autores, durante esta estación, el nitrógeno podría mejorar la sobrevivencia de los macollos, al aumentar su tamaño, nutrición (Olson y Richards, 1989) y aliviar los efectos negativos de la competencia de los tallos en floración. Para Jáuregui et al. (2016) es evidente una correlación positiva entre la tasa de sobrevivencia y tamaño de los macollos.

La relevancia del corte de tallos vegetativos para que no pasen a reproductivos durante la primavera y así lograr una buena densidad de macollos durante el verano, hace que sea crucial comprender las determinantes de la supervivencia de estos, si se desea comprender la persistencia de la festuca (Jáuregui et al., 2016). Es por esto que los mismos autores realizaron un experimento en el que se comparó durante la primavera pastoreos intensos o aliviados con o sin fertilización nitrogenada en festuca, del mismo se desprende que los ensayos que no recibieron fertilizaciones y que tuvieron una mayor proporción de tallos con flores mostraron las tasas de mortalidad más altas. Las temperaturas superiores a 30°C reducen las tasas de crecimiento de festuca a menos del 50% de su potencial. Las altas temperaturas también pueden aumentar la respiración, reduciendo así la fijación neta de carbono, situación que puede tener impactos negativos en las tasas de macollaje (Assuero y Tognetti, 2010).

2.3. EL MANEJO DE LA PASTURA Y LOS PROCESOS DE COMPENSACIÓN

Con un pastoreo frecuente y una carga moderadamente alta es probable que una pradera posea más macollos que aquellas manejadas con pastoreos muy espaciados en el

tiempo y con baja carga. Sin embargo, lo anterior no significa que las pasturas bajo corte o utilizadas con baja carga produzcan sustancialmente menos forraje verde que aquellas utilizadas frecuentemente con una carga moderadamente alta (Scheneiter, 2005). Esto se debe a la denominada "Compensación Tamaño/Densidad" que significa que en muchas situaciones una alta densidad de macollos está asociada a individuos de menor tamaño y viceversa en aquellas pasturas con menos individuos (Matthew et al., 2000). Existen situaciones en las cuales, el concepto anterior no se aplica, en particular cuando la pastura se está implantando y ocupando espacios o cuando hay muerte de plantas (Scheneiter, 2005).

Según Scheneiter (2005), un pastoreo con baja carga animal produce una pastura compuesta por una baja densidad de macollos de gran tamaño. Esta estructura de la pastura, resulta en altas tasas de crecimiento acompañadas por un importante envejecimiento y muerte de hojas. Por el contrario, cuando se pastorea con carga alta, la pastura presentará una alta densidad de macollos de menor tamaño y hojas pequeñas. Debido a la mayor carga, el crecimiento será menor, al igual que la senescencia. Consecuentemente, con ambas cargas, las pasturas pueden acumular forraje verde a tasas de crecimiento similares aunque mediante mecanismos distintos (Parsons, citado por Scheneiter, 2005). Esta compensación no se cumple cuando la carga es excesivamente baja o alta. En el primer caso, porque deprime el macollamiento posterior con el deterioro de la estructura de la pastura y en el segundo caso, debido a que la pastura es consumida muy frecuentemente y al ras del suelo, con lo cual queda poco tejido foliar para sostener el crecimiento y el reemplazo de macollos.

Scheneiter y Assuero (2010) observaron mecanismos de compensación de densidad cuando no hubo limitación de nutrición con nitrógeno.

La densidad de tallos en una pradera es un indicador de productividad y persistencia. Sin embargo, la relación cuantitativa entre densidad y productividad es más difícil de establecer. A modo de ejemplo, se determinó en festuca, una densidad de ≤ 1000 macollos/m² bajo corte y 2300 macollos/m² bajo pastoreo semicontinuo. Sin embargo, no se espera que esta pastura produzca más del doble de forraje bajo pastoreo que bajo corte, con condiciones ambientales e intensidades de defoliación similares (Bertín, citado por Scheneiter y Assuero, 2010).

Para Chapman y Lemaire, citados por Scheneiter y Assuero (2010), la densidad de los macollos per se puede no ser una medida confiable de la productividad de la pastura. Esto se debe a la compensación de tamaño/densidad de los macollos, lo que implica que una disminución en la densidad de los macollos va acompañada de un aumento en el tamaño de los macollos o viceversa. La variación en la densidad de los macollos es un mecanismo importante para regular el área foliar de una pradera, en parte debido a que el índice del área foliar está determinado por la densidad de tallos, el número de hojas por macollo (valor relativamente constante para cada especie) y el área foliar (dependiente de la intensidad de la defoliación).

Por lo tanto, el crecimiento compensatorio es un mecanismo que optimiza el índice del área foliar de la pastura (Matthew et al., 2000). En ausencia de alteraciones por defoliación, con IAF constante y relación área/volumen foliar de los macollos, se determinó que el crecimiento compensatorio a nivel de los macollos, se explica de manera conveniente mediante una relación logarítmica de tamaño/densidad con una pendiente de $-3/2$ (Sackville Hamilton et al., 1995).

A nivel de la pastura, se encontró que el crecimiento compensatorio estaba definido por la siguiente ecuación, \log_{10} masa de forraje (kg MS ha⁻¹) / \log_{10} densidad (tallos m²), con una pendiente de $-1/2$ (Matthew et al., 1995). Esta pendiente predice los cambios esperados en la masa de forraje por los cambios en la densidad.

Según Scheneiter y Assuero (2010) es posible promover el macollamiento aumentando la frecuencia de pastoreo para obtener una productividad similar y forraje de alta calidad. Aunque este mecanismo parece encontrar una densidad de macollos techo que varía dependiendo de la época del año (1950 macollos/m² en otoño y 3100 macollos/m² en primavera). Ocasionalmente, se registraron densidades de alrededor de 4000 macollos/m² en el sitio del experimento asociado a una masa de forraje de alrededor de 700 a 1000 kg de MS/ha.

En verano, el mantenimiento de praderas bajas y densas no es recomendable ya que cuando la estación es excesivamente cálida y seca, la densidad poblacional disminuye, se favorece el establecimiento de especies invasoras y la acumulación de forraje es reducida (Scheneiter et al., citados por Scheneiter y Assuero, 2010).

2.4. LOS HONGOS ENDÓFITOS COMO HERRAMIENTA PARA MEJORAR LA PERSISTENCIA

La festuca naturalmente puede generar simbiosis con especies del género *Neotyphodium*, un hongo endófito que infecta la planta en forma sistémica sin causar ningún tipo de síntoma externo y se transmite únicamente a través de las semillas (Clay y Schardl, 2002). La simbiosis de tipo mutualismo que se genera entre la planta y este hongo, induce una serie de respuestas fisiológicas, bioquímicas y morfológicas que favorecen a la planta en su aptitud para el crecimiento, la persistencia y la reproducción ante estreses tanto bióticos como abióticos a partir de compuestos producidos por el hongo. Por su parte, el hongo obtiene aminoácidos y azúcares producidos por la planta para su metabolismo, además de protección y un modo de propagación (Clay y Schardl, 2002). Se cree que el hongo endófito mejora el vigor de la festuca en condiciones de altas temperaturas y sequías bajo altas presiones de pastoreo (Bouton et al., 1993), además de conferir repelencia frente al ataque de nematodos e insectos (Bush et al., 1997).

Neotyphodium coenophialum es una especie con reproducción asexual de la familia Clavicipitaceae (Schardl y Clay, 1997). Las hifas de *Neotyphodium*

coenophialum crecen intercelularmente, recorriendo la matriz extracelular llegando a colonizar los distintos meristemas del hospedero (Bacon y Siegel, 1988). El hongo está restringido únicamente a una transmisión vertical, con una propagación clonal altamente eficiente por medio de meristemas florales, óvulos y semillas infectadas (Schardl et al., 1997). De esta manera casi el 100 % de las semillas de una planta madre portan clones del simbiote (Siegel et al., 1984). A partir de una semilla portadora del hongo, la infección de la plántula entera se da a los pocos días de transcurrida la germinación. Mientras la planta crece, el hongo infecta la mayoría de los macollos y puede ser detectado en mayor medida en la vaina de las hojas, tallos e inflorescencia; no así en polen, raíces y láminas (Siegel et al., 1984). El endófito podría diseminarse efectivamente si las hifas alojadas en la semilla permanecen viables de una generación a la siguiente, donde las condiciones ambientales durante el almacenaje tienen un efecto directo sobre su viabilidad (Siegel et al., 1984). La viabilidad de la especie endófito generalmente disminuye más rápido que la viabilidad de la semilla, las semillas pueden germinar una vez que el endófito sea inviable. Las principales variables que dan como resultado la pérdida de viabilidad de la semilla y el endófito son la temperatura de almacenamiento y el contenido de humedad de la semilla (Rolston et al. 1986, Welty et al. 1987). Sin embargo, las frecuencias de infección endófito pueden variar sustancialmente por tratarse de distintas poblaciones dentro de un solo lugar, o dependiendo de las condiciones ambientales (Spyreas et al., 2001).

En cuanto a la persistencia del hongo en la planta, además de estar afectada por las condiciones ambientales también estaría siendo influenciada por las diferencias en los tipos reproductivos de ambas especies, diferencia que podría llegar a afectar positiva o negativamente la relación entre los simbioses en lo que dura una pastura. La festuca es una especie alógama obligada (cada semilla es genéticamente diferente), lo que significa que incluso dentro de un cultivar endogámico, existe una variabilidad genética significativa entre las semillas que formaran las plántulas (Pedersen y Sleper, 1993). Esta variabilidad genética de la planta interactúa con las distintas cepas de endófitos determinando la naturaleza de la simbiosis. En la cual la reproducción sexual del huésped sería necesaria para purgar genes, producto de mutaciones deletéreas acumuladas en el hongo (Schardl, 1994), que puedan deprimir la supervivencia tanto del huésped como del hospedero.

Según Latch y Christensen (1982), las medidas para evitar la diseminación del hongo están orientadas al control de la semilla, con métodos químicos y no químicos. Estos autores demostraron además, que se podría disminuir su viabilidad con períodos largos de almacenaje a temperatura ambiente, pero sin embargo este efecto puede ser influenciado con almacenajes a temperaturas de entre 0 y 5°C., mientras que los métodos químicos se basan en la aplicación de funguicidas sistémicos, donde han reportado inconvenientes sobre la emergencia y establecimiento de plántulas.

La relación compleja entre la planta y el hongo endófito es función de los efectos directos e indirectos del hongo endófito en los procesos metabólicos del hospedero donde los compuestos que produce *Neotyphodium coenophialum* influyen positivamente en la producción y persistencia de la planta (Malinowski y Belesky, 2000). Aunque los efectos de los endófitos en la aptitud del hospedero no siempre son positivos, ya que existe una interacción impredecible entre el manejo de la pastura, el genotipo del hospedador y el endófito, modulando la expresión fenotípica de modo que la simbiosis puede ser neutral o incluso perjudicial para el huésped (West, 2007). Brosi (2011) señala que el grado de mutualismo puede depender de las condiciones ambientales, y que bajo ciertos regímenes el hongo endófito podría incluso convertirse en un parásito. Cheplick et al. (1989) sugirieron que la planta hospedera incurría en un costo metabólico para apoyar el hongo endófito. Ese costo, expresado en términos de plantas más pequeñas no sería visible a menos que ocurran condiciones ambientales estresantes, con diferencias entre las asociaciones con hongo endófito (E+) y sin hongo endófito (E-), mayormente en grupos jóvenes que en grupos bien establecidos de plantas. En general, las plantas infectadas crecieron en forma similar o fueron inferiores en relación a las E- cuando los nutrientes eran limitados. El crecimiento de las plantas jóvenes E + se redujo en relación con las plantas E- con niveles limitados de nutrientes (costo energético del endófito), y no se observaron diferencias en el crecimiento en condiciones de alto contenido de nutrientes.

Bush y Fannin (2009) señalan que en la asociación simbiótica entre *Neotyphodium coenophialum* y la planta de festuca se producen principalmente tres grupos de alcaloides: peraminas, lolinas y ergóticos. Todos estos grupos parecen ser bioactivos, ya que pueden inhibir funciones en bacterias, insectos, mamíferos y plantas además de promover otras, siendo los responsables del aumento en persistencia y vigor.

Luego de entendido que dentro de los alcaloides más tóxicos para el ganado producidos por la especie silvestre de *Neotyphodium coenophialum* se encontraba la ergovalina (Lane et al., 1997), muchos trabajos de investigación se han dedicado a la identificación y el desarrollo de cepas endófitas que conservan los efectos benéficos para la planta de algunos alcaloides producidos por *Neotyphodium coenophialum*, pero sin generar efectos negativos en los herbívoros. Las cepas del hongo endófito benéficas generadas y/o aisladas producen principalmente lolina y peramina (disuasivos de insectos) pero no producen alcaloides ergóticos de alta toxicidad del tipo de la ergovalina (Latch et al. 2000, Bouton y Easton 2005).

Para superar los problemas de toxicosis, algunos investigadores evaluaron varias cepas de endófitos en donde se determinó la compatibilidad del huésped, la producción de alcaloides, la transmisión de endófitos entre las plantas y las semillas, y el rendimiento agronómico (Bouton et al. 2000, Bouton et al. 2002). Luego algunas investigaciones demostraron que el endófito AR542, cepa aislada de una festuca originaria de Marruecos y patentada por Latch et al. (2000), no produce alcaloides

ergóticos. Esta cepa comercializada bajo la marca registrada MaxQ en USA, una marca de Grasslanz Technology Ltd., Palmerston North, Nueva Zelanda (Bouton et al. 2002, Bouton 2007). También es comercializada como MaxP, marca registrada en Australia y Nueva Zelanda (Popay et al., 2005). El hongo endófito AR542 fue introducido, bajo el método de Latch y Christensen (1982) en el cultivar Jesup, desarrollado en la Universidad de Georgia, Estados Unidos, surgiendo de esta combinación “Jesup MaxQ” (Bouton et al., 2002). Después de varios años de estudios se determinó que Jesup MaxQ no produjo alcaloides ergóticos en sus hospederos y mantiene la persistencia que otorga la cepa endófito silvestre (Bouton et al. 2000, Bouton et al. 2002). “Jesup MaxQ” mostró además, una supervivencia equivalente a la de la festuca con endófito tóxico (E+), y mejor que la de la festuca libre de endófitos (E-, Bouton et al., 2002). Debido a la no producción de alcaloides ergóticos, la performance animal fue superior a la de la festuca infectada con el endófito salvaje (E+, Bouton et al., 2002).

Otra variante de *Neotyphodium coenophialum*, el endófito AR584 también aislado de una festuca originaria de Marruecos (Latch et al., 2000), un genotipo muy similar a AR542, el cual se desarrolló por AgResearch, Hamilton, Nueva Zelanda. Fue inoculado en el cultivar de festuca Texoma, cultivar liberado por la Fundación Samuel Roberts Noble en cooperación con AgResearch Ltd. en 2009 (Bouton et al. 2002, Hopkins et al. 2011).

Las cepas AR542 y AR584 tienen genes funcionales y vías de biosíntesis para la producción de lolinas y peramina, alcaloides que reducen el nivel de ataque de insectos. No se produce toxicosis en animales que pastorean cultivares de festuca infectados con AR542 y AR584 (Bouton et al. 2002, Hopkins et al. 2010).

Malinowski y Belesky (2000) señalan que si bien la infección de endófitos benéficos tiene efectos ecológicos intermedios a los producidos por plantas libres de endófitos tóxicos salvajes, los cultivares de festuca que contienen estos hongos tienen una zona de adaptación más amplia que los cultivares libres de endófitos y son más tolerantes a la sequía. Esto puede permitir que se usen nuevos cultivares de festuca en zonas de bajas precipitaciones, limitantes para festucas libres de endófitos (Malinowski y Belesky, 2000). Pero según Wheatley et al. (2003) existe un rango de condiciones ambientales para los beneficios del uso de endófitos en la producción de festuca. Por ejemplo, en la zona de alta precipitación de Australia (800 mm) se lograron aumentos significativos en el rendimiento anual mediante el uso de hongos endófitos benéficos, en relación con cultivares libres de endófitos (E-), pero en ambientes de lluvia con una precipitación anual de entre 500 y 700 mm, se encontró que los cultivares de festuca que contienen endófitos benéficos no siempre rendían más que el cultivar equivalente libre de endófitos (Harris et al., 2008).

Harris et al. (2008) sugirieron que las interacciones genotipo por ambiente pueden haber sido el determinante clave del rendimiento de festuca para algunos

cultivares, en lugar del estado endófito en la planta. Como se pensó que sería importante la interacción genotipo hospedero/endófito/ambiente, se han realizado estudios con el fin de detectar que interacción puede existir entre el genotipo del endófito y hospedero (Faeth et al. 2002, Faeth et al. 2006).

La interacción (genotipo/hospedero/endófito/ambiente) toma relevancia al momento de comprender la relación entre planta y endófito en distintos ambientes y en consecuencia la respuesta de la pastura, especialmente en épocas de cambio climático (Thompson, 2005). Debido a la diferencia en la habilidad para producir distintos perfiles de alcaloides por las distintas cepas, los cuales tienen una importante influencia en el crecimiento y supervivencia de las plantas, Hill et al. (1996) midieron el efecto endófito infectando plantas derivadas del mismo clon de festuca con distintos genotipos de endófitos. Mostraron que la cepa del hongo puede influir en el potencial hídrico de la hoja (distintas cantidades de lolina) y por lo tanto la respuesta de las plantas al estrés por sequía. Por otro lado, Hopkins et al. (2011) demostraron que también es de importancia conocer la interacción entre el genotipo del huésped y el hospedero en distintos ambientes sobre el desempeño de la pastura, observando rendimientos de forraje 20 % superiores con el cultivar Texoma MaxQII a los obtenidos con Jesup MaxQ. Asimismo, la persistencia de este cultivar en el centro - Sur de los Estados Unidos y el rendimiento de semilla en Oregon, han sido superiores a los de Jesup MaxQ.

Como el medio ambiente juega un papel crítico en la determinación del grado y la naturaleza de la simbiosis planta-endófito, es necesario también entender las implicaciones de los cambios en el clima, especialmente con respecto a los endófitos que se están desarrollando para aumentar la persistencia de las pasturas, razón por la cual se entendió oportuno incorporar este abordaje en Uruguay. Por ejemplo, en condiciones de estrés ambiental, como sequía o altas temperaturas, los estudios sobre la simbiosis entre *Lolium perenne* y endófitos han puesto en evidencia la interacción entre el genotipo del hospedador, el genotipo del endófito y las condiciones ambientales. Es el caso de Cheplick et al. (2000) donde encontraron que el endófito permitió generar resistencia a la sequía en algunos cultivares de raigrás pero en otros no. Lo que hace pensar que podría suceder algo similar con la resistencia a altas temperaturas en distintos cultivares de festuca inoculados con una misma cepa (AR584).

2.5. COMENTARIOS FINALES

Como se constató en la revisión, *Festuca arundinacea* tiene un papel preponderante en los sistemas de producción del país, ya sea como componente de pasturas mezclas o puras, debido a su creciente uso, en el mercado se dispone de un amplio grupo de cultivares, de variadas características. Dentro de esa variada oferta, el programa de mejoramiento genético de forrajeras de INIA ha liberado dos cultivares de tipo continental, INIA Aurora y Fortuna, que se encuentran en franca expansión. Estos

materiales aportan mejoras sustantivas tanto en productividad como en calidad sobre el cultivar Estanduela Tacuabé que se considera como referencia en función de su historia en el mercado. Además de la liberación de una nueva generación de cultivares, el INIA ha introducido en estos cultivares la inoculación de los mismos con el hongo endófito AR584, en la búsqueda de mejorar la performance de los mismos frente a condiciones ambientales desfavorables. En los mismos la simbiosis con un hongo endófito benéfico genera cambios fisiológicos en plantas infectadas que podrían modular positivamente su comportamiento en los meses que la temperatura supera los límites de crecimiento y sobrevivencia de cada unidad estructural para cada variedad. De este modo, la persistencia de festuca podría ser mejorada, en particular frente a condiciones de estrés en verano, período que se considera clave para esta especie, dado los efectos que las altas temperaturas y los déficits hídricos en forma aislada o conjunta provocan.

Esta tecnología, novedosa para las condiciones de Uruguay, está siendo validada a través de diversos experimentos que buscan determinar la sobrevivencia estival de macollos y su respuesta frente a manejos diferenciales de defoliación para los mismos cultivares liberados al mercado. Los estudios sobre dinámica poblacional de esta especie y su evolución a través del tiempo frente a variables de manejo posibilitará generar información y recomendaciones a nivel de la región Este del país.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. SITIO EXPERIMENTAL

El trabajo se realizó en el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA Treinta y Tres, Uruguay), Unidad Experimental Palo a Pique (33°16'11.53"S, 54°29'46.49"O) sobre suelos de lomadas en la unidad Alférez (Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay 1:1.000.000). Los suelos dominantes son Argisoles subéutricos melánicos que ocupan las laderas con alto riesgo de erosión y Planosoles subéutricos melánicos/ótricos que ocupan partes altas planas, con problemas de drenaje y asociados a blanqueales (Durán et al., 2005). Según el USDA- Departamento de Agricultura de Estados Unidos se clasifican como clase III por su capacidad de uso y manejo (Durán et al., 2005).

Sobre un área de 24 has se sembraron 5 cultivares de *Festuca arundinacea*, en un diseño en bloques completos al azar con 4 repeticiones en el año 2013. Las pasturas se sembraron con una densidad de 13 kg/ha bajo el método de siembra directa. Se realizó fertilización fosfatada con distintas fuentes, a la siembra con 150 kg/ha NPK (15-15-15) y luego en forma intercalada NPK (15-15-15) y fosforita natural (0-10/29-0) a razón de 100 kg/ha siendo siempre aplicadas en otoño. La urea (46-0-0) se aplicó a razón de 100 kg/ha por estación a partir de la primavera del primer año. A los efectos de describir el sitio experimental y su evolución, se extrajeron muestras de suelo a dos profundidades (0-7,5 cm y 7,5-15 cm) en todos los otoños, determinándose el pH en agua, potasio (meq. K/100 g suelo), nitratos (ppm), fósforo en ácido cítrico (ppm) y carbono orgánico (%). Los resultados de los análisis del año 2013 se presentan en el cuadro No. 2.

Cuadro No. 2. Análisis de suelos previo a la siembra por bloque a distintas profundidades (0 - 7,5 cm y 7,5 - 15,0 cm).

Bloque	Profundidad (cm)	pH (Agua)	Potasio (meq./100g)	Nitrógeno (ppm N-NO ₃)	Fósforo Ácido cítrico (ppm)	Carbono orgánico (%)
Bloque 1	0 - 7,5	5,2	0,47	8	39	2,3
	7,5 - 15	5,2	0,29	11	13	1,4
Bloque 2	0 - 7,5	5,2	0,37	5	30	2,3
	7,5 - 15	5,3	0,22	8	8	1,1
Bloque 3	0 - 7,5	5,2	0,38	6	26	2,1
	7,5 - 15	5,2	0,22	6	10	1,3
Bloque 4	0 - 7,5	5,3	0,44	5	47	2,3
	7,5 - 15	5,6	0,25	5	9	1,2

Los cultivares sembrados fueron INIA Fortuna (FO), INIA Fortuna inoculada con el hongo endófito AR584 (FO+); INIA Aurora (AU), INIA Aurora inoculada con el hongo endófito AR584 (AU+) y Kentucky 31 inoculada con un hongo endófito salvaje (K31). Dado que el nivel de infección del cultivar AU+ a fines de 2013 era menor a 70%, se descartaron las parcelas de AU y AU+, resembrándose nuevamente en abril 2014. El nivel de endófitos para los tratamientos se determinó con la técnica “blotting test” (Gwinn et al., 1991). Se llevaron a cabo a partir de la toma de 100 macollos al azar en cada parcela.

Las pasturas se utilizaron a partir de fines de primavera de cada año con novillos de 15 meses de edad, a una dotación de 7 animales/tratamiento que permanecían un año en el sistema, realizando ajustes periódicos de carga en función de la disponibilidad de forraje (técnica “put and take”). Se pastoreo en forma rotativa sobre los cuatro bloques, con períodos de ocupación y descanso fijos de 10 y 30 días respectivamente, posibilitando 9 ciclos de pastoreo por año.

3.2. EXPERIMENTO I: SOBREVIVENCIA ESTIVAL DE DISTINTOS CULTIVARES DE FESTUCA

Se instaló sobre el área experimental descrita previamente un experimento para evaluar la sobrevivencia estival de macollos de festuca en los cultivares FO, FO+, AU y AU+. La evaluación se extendió por 146 días entre el 14 de diciembre de 2016 y el 9 de mayo de 2017.

El diseño experimental fue factorial (2x2) en parcelas al azar con 4 repeticiones, manejando unidades experimentales de 0,06 m². Los factores evaluados fueron la inclusión del hongo AR584 (con endófito vs. sin endófito) y la altura de defoliación (mantener la pastura a 3 cm vs. mantenerla a 10 cm) sobre los cultivares Fortuna y Aurora.

Los cultivares se manejaron en forma independiente dado que las pasturas al momento de la evaluación se encontraban en el 3er. o 2do. año para Fortuna y Aurora respectivamente. Debido a esto se dividió el ensayo en Ia (variedades de Fortuna) y Ib (variedades de Aurora). El área se mantuvo aislada para evitar el pastoreo durante el período de monitoreo. En función del régimen de precipitaciones, se hicieron 3 riegos estratégicos a los efectos de que el agua no resultase un factor limitante en la sobrevivencia de los macollos. El grado de infección con el hongo endófito AR584 se evaluó el 14/12/16 y el 24/02/17, a los efectos de cuantificar que se alcanzaran los estándares mínimos.

3.2.1. Determinaciones

En cada unidad experimental el 14/12/2016 se marcaron 40 macollos con anillos, los que fueron monitoreados luego para evaluar su sobrevivencia en 6

oportunidades (13/1/2017, 3/2/2017, 23/2/2017, 20/3/2017, 17/4/2017 y 9/5/2017), estableciéndose también 6 períodos entre cada muestreo (P1, P2, P3, P4, P5 y P6).

Se monitoreo el régimen de lluvias y temperaturas en una estación meteorológica automática marca Campbell Sci ubicada en la Unidad Experimental Palo a Pique.

3.2.2. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para evaluar los porcentajes de sobrevivencia a través de un modelo de medidas repetidas en el tiempo. En los casos en que se detectaron diferencias significativas, se realizó la separación de medias utilizando el test de Mínimas Diferencias Significativas (MDS 5%). Se analizó la transformación de la variable sobrevivencia, la cual está expresada como porcentaje, utilizando la función $\sqrt{\%sob}$. Dado que no se encontraron diferencias en ningún caso en los resultados comparando con el análisis de la variable original, no se presentan los datos transformados. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS (versión 9.4).

El modelo general utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_i x_i + \beta_j x_j + \beta_{ij} x_i x_j + \beta_p x_p + \beta_{ip} x_i x_p + \beta_{jp} x_j x_p + \beta_k x_k + e_{ijkp}$$

i= 3 cm, 10 cm j= Con endófito, Sin endófito p= Períodos (1-6)

Dónde:

β_0 = Efecto general

β_k = Efecto del bloque k

β_{ij} = Efecto del tratamiento ij

β_p = Efecto período

e_{ijkp} = Error con las propiedades usuales (media cero, varianza constante y no correlación con otros términos de error)

Y_{ijk} = Característica observada

3.3. EXPERIMENTO II: EVOLUCIÓN DE LA DENSIDAD DE PASTURAS PURAS DE FESTUCAS BAJO PASTOREO

Luego de cumplido el primer año, las diferentes pasturas fueron monitoreadas regularmente en cada otoño a través de la densidad de macollos, como parámetro indicador de la persistencia de festuca.

Sobre el diseño experimental original se extrajeron en cada parcela 10 submuestras en las líneas de siembra de 20 cm de largo, para lo que se realizó el muestreo con una pala de corte. Este muestreo se repitió para cada cultivar en cada uno

de los 4 bloques. Cada muestra se manejó en forma independiente, llevándolas al laboratorio donde se las limpio a los efectos de realizar las determinaciones.

3.3.1. Determinaciones

Se contabilizó el número de macollos y su peso seco. Con esta información se estimó la densidad de macollos por unidad de superficie asumiendo una distancia entre hileras de 17 cm en base a la máquina de siembra directa utilizada. Se determinó la disponibilidad de forraje previo a la entrada al pastoreo y los remanentes post pastoreo, cortando 6 muestras de forraje dentro de un cuadro de 20 x 50 cm, mediante tijera eléctrica al ras del suelo. Simultáneamente, se midió la altura del forraje, mediante regla en 4 puntos dentro de cada cuadro.

Se estudió la asociación entre el número y el peso seco de los macollos, buscando una relación de compensación entre estos parámetros.

3.3.2. Análisis estadístico

Visto las diferencias en edad de las pasturas y tal lo realizado en el experimento I, la información se analizó de la siguiente forma: Experimento IIa) FO, FO+ y K31 y Experimento IIb) AU y AU+.

A través de un análisis de varianza se estudió el peso individual de macollos (g), el peso seco de macollos (g/m²) y la densidad expresada como No./m², comparando dentro y entre años.

Se utilizó a la altura del forraje remanente como estimador de la disponibilidad de forraje, y se comparó la misma entre y dentro de años para los distintos cultivares, realizando los respectivos análisis de varianza.

En los casos en que se detectaron diferencias significativas, se realizó la separación de medias utilizando el test de mínimas diferencias significativas (MDS 5%).

El modelo general utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ik} = \beta_0 + \beta_i X_i + \beta_{ip} X_i X_p + \beta_k X_k + e_{ikp}$$

i= Cultivar (FO, FO+ y K31) ó (AU, AU+)

Dónde:

β_0 = Efecto general

β_k = Efecto del bloque k

β_i = Efecto del cultivar i

β_p = Efecto año

e_{ikp} = Error con las propiedades usuales (media cero, varianza constante y no correlación con otros términos de error)
 Y_{ik} = Característica observada

La asociación entre la densidad de macollos y el peso individual de los mismos se estudió a través de análisis de regresión, seleccionado aquellos modelos que explicaban la mayor proporción de la varianza de la respuesta obtenida.

Los distintos análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS (versión 9.4).

4. RESULTADOS

La información será presentada, tal lo descrito en la sección Materiales y Métodos, por experimento (Experimento I y II), y dentro de cada uno se realizará una apertura en Ia y Ib, y IIa y IIb dado que las pasturas tienen diferente edad. Finalmente se presentará una discusión que incluye el análisis de las principales variables de interés abordadas.

4.1. EXPERIMENTO I: SOBREVIVENCIA ESTIVAL DE DISTINTOS CULTIVARES DE FESTUCA

4.1.1. Variables agrometeorológicas

En la figura No. 1 se presenta la evolución de las temperaturas máximas y mínimas a nivel del aire en el período experimental (14/12/16 - 9/05/17). Se observa que la temperatura máxima media diaria fue de 27,2°C oscilando entre 35,7 y 18,0°C, la cual es muy similar a la histórica del período (27,1°C). Las temperaturas mínimas diarias estuvieron entre 21,9 y 2,9°C, con un promedio de 14,3°C, siendo 1°C menor al registro histórico de temperaturas medias mínimas. Las temperaturas medias diarias estuvieron entre 11,8 y 26,5°C promediando 20,6°C comparado a los 21,9°C del promedio diario histórico.

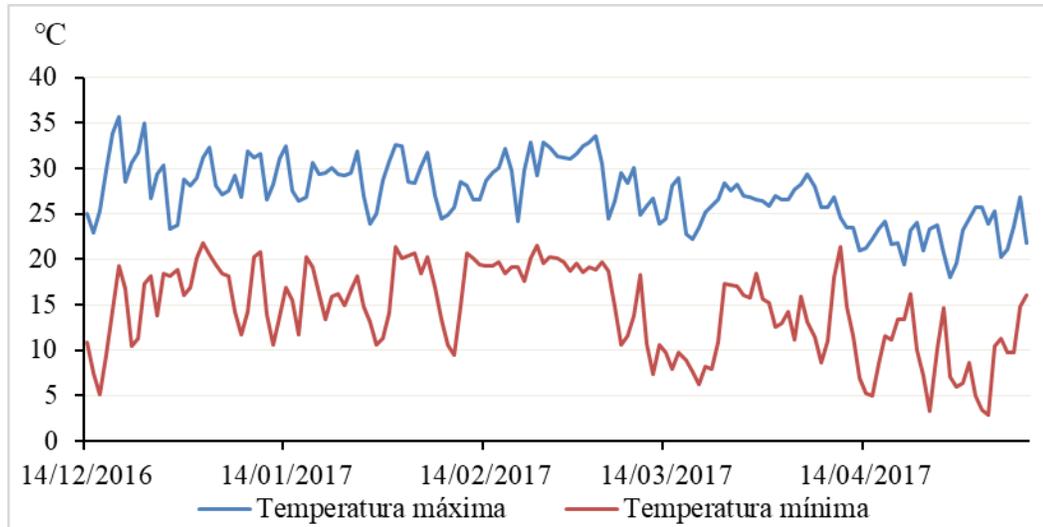


Figura No. 1. Evolución de las temperaturas máximas y mínimas en el período experimental.

Como se observa en la figura No. 2a y No. 2b, el rango de temperaturas a nivel del césped es mayor que a nivel del aire, presentando una máxima en el período de 43°C y 1°C de mínima. A pesar de la mayor amplitud no existieron prácticamente diferencias entre las temperaturas medias (1°C como máximo). Comparando las temperaturas mínimas, se vio que a nivel del césped están entre 5 y 2°C por debajo de las

temperaturas del aire. Contrariamente, observando los datos máximos tomados en el aire, permanecen siempre por debajo entre 5 y 9°C con respecto a las temperaturas medidas a nivel del césped.

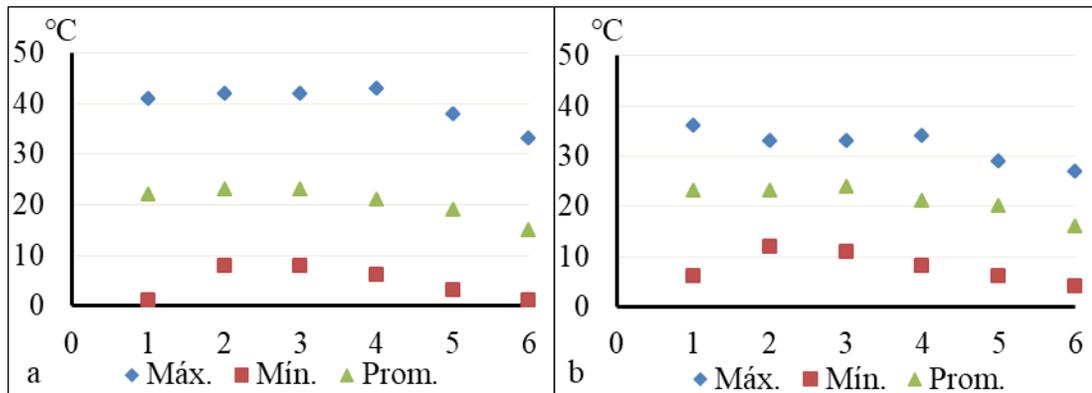


Figura No. 2. Temperaturas del aire máximas (máx.), mínimas (mín.) y promedios (prom.) para los períodos P1-P6 (diciembre 2016 - mayo 2017), a nivel del césped 3 - 5 cm (a) y aire (b).

Existen reportes que mencionan que temperaturas superiores a 30°C grados determinan efectos en la sobrevivencia, y más aún cuando las mismas superan los 35°C (Jáuregui et al., 2016). Se realizó el cálculo del número de horas con temperaturas superiores a 35°C en los periodos de análisis (P1 - P6) que se presentan en la figura No. 3. En promedio se registraron 6,12 horas por día igual o por encima de 25°C, 1,24 horas igual o mayor de 30°C e igual o por encima a 35°C solo 0,03 horas por días que corresponde a 3,6 minutos por día (esta temperatura solo fue superada en una de las mediciones). A nivel del césped existieron más horas al día en cada rango de temperatura, siendo de 6,24, 3,24 y 1,1 horas por día para 25, 30 y 35°C respectivamente. Cabe destacar que estos datos son tomados por la estación automática en un césped entre 3 y 5 cm de altura. En la figura No. 3 también se observa que la incidencia de altas temperaturas ocurre fundamentalmente en el período P1 al P4, reduciéndose sus episodios en abril y mayo (P5 - P6).

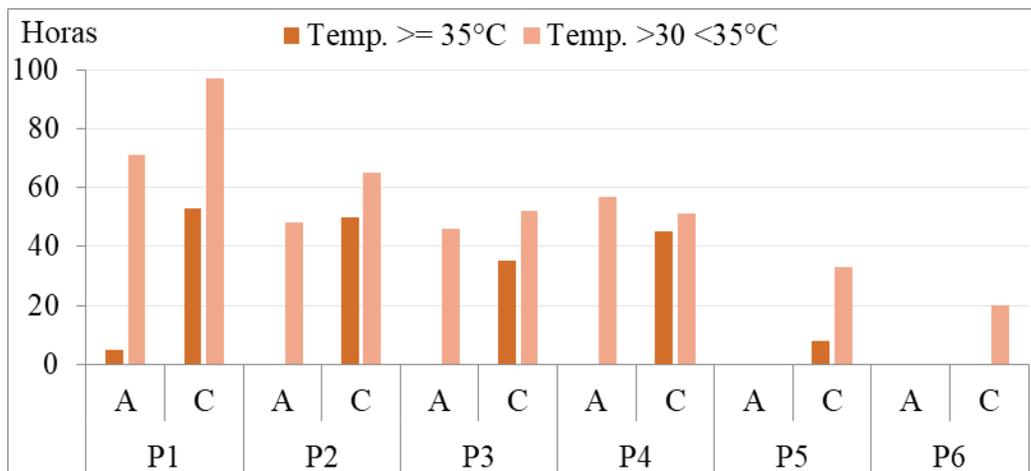


Figura No. 3. Número de horas con temperaturas superiores a 35°C y entre 30 y 35°C en el aire (A) y césped (C) en 6 períodos (P1-P6) entre diciembre 2016 y mayo 2017.

En cuanto a las precipitaciones, el promedio mensual fue de 122 mm, si se compara con el promedio histórico para los mismos meses, éste dato se ubica 7 mm por encima. La evapotranspiración potencial fue en promedio de 105 mm/mes y la histórica del período es 112,5 mm/mes. Los meses con más ETP fueron diciembre, enero y febrero con 139, 144 y 116 mm/mes en promedio, si se compara con los promedios históricos están un poco por debajo siendo 158, 162 y 122 mm/mes respectivamente.

Para caracterizar con respecto al déficit hídrico durante el período experimental se tomó un balance hídrico elaborado por Ing. Agr. Fabiana Pereyra ya que realizó su trabajo en el mismo sitio experimental, en el cual se tomaron las precipitaciones medidas en el sitio experimental y se asumió un 70% de utilización en los meses de abril a setiembre y un 80% de utilización en los meses de octubre a marzo para obtener el valor de precipitaciones efectivas. Para el cálculo de evapotranspiración, se utilizó el valor de “evapotranspiración Penman” multiplicado por 0.9 (kc para festuca). Se consideró además, 51 cm de exploración radicular y 66 mm de almacenamiento de agua disponible, según análisis de suelo realizados en el sitio experimental. ¹ Tal como se observa en la figura No. 4 solo se constató déficit hídrico en el primer mes del ensayo y luego no se presentó más déficit.

¹ Pereyra, F. 2019. Com. personal.

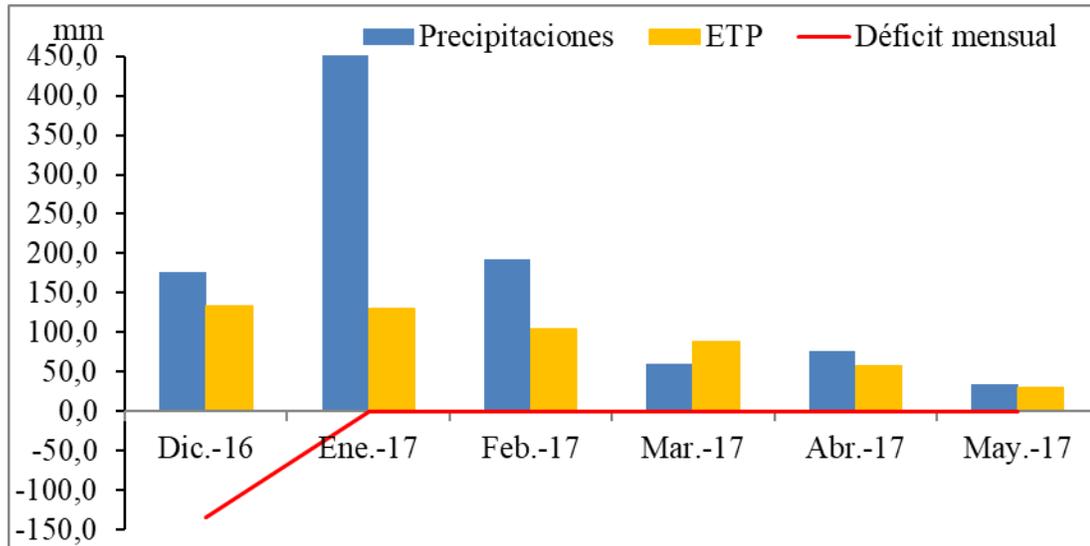


Figura No. 4. Balance hídrico mensual para el período experimental diciembre 2016 - mayo 2017

4.1.2. Niveles de infección con el hongo endófito AR584

Los niveles de infección del hongo endófito AR584 determinados a través del “blotting test” se presentan en el cuadro No. 3 para todos los cultivares. En primer término, se observan porcentajes de infección por debajo del 3% en aquellos cultivares que no fueron inoculados (FO y AU), lo que permite una adecuada comparación con los tratamientos inoculados. Dentro de los cultivares inoculados, Fortuna mostró valores muy similares y superiores a los mínimos establecidos (88 - 90%), en ambas fechas (cuadro No. 3). En cambio, Aurora presentó valores muy diferentes entre diciembre y febrero, disminuyendo el nivel de infección a finales del experimento. Estudios de esta naturaleza recomiendan trabajar con niveles de infección superiores al 70%, aunque existe bibliografía que reporta resultados con niveles inferiores de infección.

Cuadro No. 3. Niveles de infección promedio (%) del hongo endófito AR584 en 4 cultivares de festuca.

Fechas	FO	FO+	AU	AU+
14/12/16	3	90	2	81
24/02/17	0	88	3	55

4.1.3. Experimento Ia. sobrevivencia estival de macollos de festuca fortuna

En el cuadro No. 4 se presentan los datos de sobrevivencia de macollos durante el monitoreo realizado en el verano 2016 - 2017 para los cultivares FO y FO+ con cortes de defoliación a 3 y 10 cm. No se observan efectos significativos por la presencia del hongo en ninguna de las fechas evaluadas. Se observa cierta variabilidad entre algunas repeticiones, aun cuando se manifiesta cierta tendencia a una mayor sobrevivencia para el cultivar inoculado (anexo No. 2) En referencia a la intensidad de defoliación, se encuentran diferencias significativas en 5 de las 6 fechas analizadas. En ninguno de los períodos se registró una interacción significativa (H x I), por lo que es posible reportar los efectos simples.

En relación a la intensidad de defoliación, se encuentra una mayor sobrevivencia de macollos en los tratamientos mantenidos a 10 cm en comparación con los manejados a 3 cm, independientemente de si fueron inoculados o no. Dentro de cada intensidad de defoliación, el cultivar inoculado con el endófito presenta mayor sobrevivencia que aquel que no lo fue.

Cabe destacar los descensos en los porcentajes de sobrevivencia con respecto al comienzo del experimento, la máxima caída la presenta FO 3 cm con 29%, lo siguen FO+ 3 cm con 18%, FO 10 cm 12% y FO+ 10 cm 3%. Al siguiente período la sobrevivencia declinó a menor tasa que en el período anterior, ubicándose entre 4 y 7%. Con respecto a la mortalidad de los macollos en el tercer período se vio un mínimo descenso, siendo el máximo de 3%. En el cuarto recuento se destaca la reducción en 11% de la sobrevivencia del tratamiento FO+ 3 cm, esto generó una diferencia estadística (p-valor 0,02) a favor de FO+ 10 cm la cual se mantuvo con diferentes niveles de significancia hasta el final del ensayo (P5 p-valor 0,01; P6 p-valor 0,02). En cuanto a la caída en la sobrevivencia, en el período 5 se dieron valores similares a los anteriores, en el rango de 2 al 7%. En el último recuento los tratamientos con cortes a 10 cm presentaron un 4% de muerte de macollos, mientras que los cortes a 3 cm mantuvieron los valores de sobrevivencia del período anterior.

En los tratamientos a 3 cm el 53% de las muertes de macollos a lo largo del experimento se dieron durante el primer período, con un rango entre 0 y 23%. En cambio, con en el manejo a 10 cm las muertes de los macollos fueron más homogéneas entre los recuentos, siendo entre 1 y 8%. Como consecuencia de la evolución de las muertes de cada tratamiento, al final del ensayo los cortes a 10 cm tuvieron un 17% más de sobrevivencia que los cortes a 3 cm, diferenciándose estadísticamente (p-valor de 0,02).

Evaluando la inclusión del endófito AR584, el análisis no muestra diferencias significativas entre la presencia o no del hongo. Los valores promedios con endófito finalizaron 11% por encima de los tratamientos sin endófito (71% vs. 60%), encontrándose cierta variabilidad entre repeticiones (anexo No. 2). Al igual que en la

evaluación de las alturas de cortes, en el primer período se dieron las mayores tasas de mortalidad de macollos, 10 y 21% para FO+ y FO respectivamente.

Cuadro No. 4. Supervivencia estival de macollos (% y variable modificada a raíz cuadrada) en 2 cultivares de festuca (FO y FO+) como consecuencia de la infección del endófito (efecto H), la intensidad de defoliación (efecto I) y su interacción (H x I).

	14/12/16	13/01/17		03/02/17		23/02/17		20/03/17		17/04/17		09/05/17	
	%	%	√	%	√	%	√	%	√	%	√	%	√
FO	100	79	8,9	73	8,5	71	8,4	69	8,3	63	7,5	60	7,8
FO+	100	90	9,5	85	9,2	84	9,8	77	8,8	73	8,9	71	8,4
3 cm	100	77	8,8b	71	8,4	69	8,3b	63	7,9b	57	7,6b	57	7,6b
10 cm	100	92	9,6a	87	9,3	86	9,8a	83	9,1a	79	8,9a	74	8,6a
FO 3	100	71	8,4	65	8,1	62	7,8	60	7,8	56	7,5	55	7,4
FO 10	100	88	9,4	81	9,0	80	8,9	77	8,8	71	8,4	66	8,1
FO+ 3	100	82	9,1	77	8,8	76	8,7	65	8,1	58	7,6	58	7,6
FO+ 10	100	97	9,9	93	9,6	92	9,6	89	9,4	87	9,3	83	9,1
Efecto H	-		ns		ns		ns		ns		ns		ns
Efecto I	-		0,03		ns		0,03		0,02		0,01		0,02
Ef. H x I	-		ns		ns		ns		ns		ns		ns
MDS (I)	-		0,78		-		1,09		0,99		0,99		0,95

Letras diferentes dentro de cada columna muestran diferencias entre tratamientos (MDS, 5%) para tratamientos con efecto significativo

4.1.4. Experimento Ib. supervivencia estival de macollos de festuca aurora

En el cuadro No. 5 se presentan los resultados de supervivencia para los cultivares Aurora inoculado con el endófito AR584 y sin el endófito (AU+ y AU respectivamente), ambas con cortes a 3 y 10 cm. Del análisis de la información no se observan diferencias significativas a causa del endófito AR584, salvo en el período final (P6). No se registraron diferencias significativas para el factor intensidad de defoliación ni para la interacción H x I en ninguna de las fechas analizadas (P1-P2-P3-P4-P5-P6).

En el período P6 se observan diferencias significativas por la inclusión del endófito, con una mayor supervivencia de macollos del cultivar no inoculado respecto al inoculado (cuadro No. 5), finalizando con 46 y 63% de supervivencia para AU+ y AU respectivamente. En el total de las muertes de macollos en AU+ (54%), el 37% de las mismas sucedieron en la fecha del primer recuento (P1) y un 24% en el muestreo del 20/03/17 (P4), lo cual entre estas dos fechas totalizan el 61% de las muertes de macollos de AU+. En el caso de AU para las mismas fechas se contabilizó un 57% de las muertes de macollos del total del período.

En general, se observa que AU 10 cm es el tratamiento que siempre tiene mayor sobrevivencia, en comparación con el tratamiento AU+ 10 cm. En los tratamientos a 3 cm no se observan grandes diferencias, AU+ termina con un 5% más de sobrevivencia que el tratamiento sin infección.

Analizando el período P1 (cuadro No. 5), existe una disminución en el nivel de sobrevivencia de todos los tratamientos, destacándose las mermas en el tratamiento AU+ 10 cm con 24%, luego AU + 3 cm con 16%, AU 3 cm 12% y AU 10 cm 9%. En el segundo período (P2) las pendientes de mortalidad de macollos fueron menores (4 a 12%), destacándose AU 3 cm con el máximo. En el tercer periodo todos los tratamientos mantuvieron la sobrevivencia o una caída muy leve entre 1 y 3%. Al siguiente período (P4) aumentaron las muertes de macollos con valores similares al de la primera etapa, ubicándose en el rango de 7 a 14 %. Cabe destacar que los mayores descensos fueron de los tratamientos que ya se encontraban por debajo en sobrevivencia y la menor mortalidad del tratamiento que se encontraba por encima. Luego en el período P5 se dieron tasas de disminución similares entre los tratamientos (5 a 7%) y menores en general al recuento anterior. Por último, se presentaron diferencias estadísticas en el período P6, el tratamiento AU+ 10 cm disminuyó 8%, AU+ 3 cm 6%, AU 10 cm 3% y AU 3 cm 2%. Es de destacar que los tratamientos con cortes a 3 cm finalizaron con valores similares y sin diferencias en la prueba de medias.

En referencia a la altura de corte a 3 y 10 cm, los tratamientos finalizan con valores muy similares (56 y 52% para 10 y 3 cm respectivamente). En los cortes a 3 cm ocurrieron descensos máximos de 14% en 13/01/17 y 20/03/17 y luego un rango entre 1 y 9%. En el caso de 10 cm fue similar, pero con un máximo de 17% en el 13/01/17 y posteriores disminuciones entre 2 a 9%. A pesar de que los valores de sobrevivencia de AU siempre estuvieron por encima, no se encontraron diferencias estadísticas en los primeros 5 períodos.

Cuadro No. 5. Sobrevivencia estival de macollos (% y variable modificada a raíz cuadrada) en 2 cultivares de festuca (AU y AU+) como consecuencia de la infección del endófito (efecto H), la intensidad de defoliación (efecto I) y su interacción (H x I).

	14/12/16	13/01/17		03/02/17		23/02/17		20/03/17		17/04/17		09/05/17	
	%	%	√	%	√	%	√	%	√	%	√	%	√
AU	100	89	9,4	82	9,1	81	9,0	71	8,4	65	8,1	63	7,9a
AU+	100	80	8,9	75	8,7	72	8,5	59	7,7	53	7,3	46	6,6b
3 cm	100	86	9,3	77	8,8	76	8,7	62	7,9	57	7,5	52	7,2
10 cm	100	83	9,1	79	8,9	77	8,8	68	8,2	62	7,9	56	7,5
AU 3	100	88	9,4	76	8,7	75	8,7	62	7,9	57	7,5	55	7,4
AU 10	100	91	9,5	87	9,3	86	9,3	79	8,9	74	8,6	71	8,4
AU+ 3	100	84	9,2	79	8,9	76	8,7	62	7,9	56	7,5	50	7,1
AU+ 10	100	76	8,7	71	8,4	68	8,2	56	7,5	50	7,1	42	6,5
Efecto H	-		ns		0,04								
Efecto I	-		ns										
Ef. H x I	-		ns										
MDS (H)	-		-		-		-		-		-		1,2

Letras diferentes dentro de cada columna muestran diferencias entre tratamientos (MDS, 5%) para tratamientos con efecto significativo

4.2. EXPERIMENTO II: EVOLUCIÓN DE LA DENSIDAD DE PASTURAS PURAS DE FESTUCAS BAJO PASTOREO

Sobre las pasturas de festuca descriptas, se realizó un seguimiento en todos los otoños a los efectos de estudiar la densidad de macollos (M, No./m²), el peso seco (PS, g/m²) y peso individual de los mismos (PI g/macollo). Cabe recordar, tal lo expresado en Materiales y Métodos, que las pasturas diferían en edad por lo que se reporta en forma separada (IIa y IIb). El experimento IIa incluyó a los cultivares de festuca FO, FO+ y K31 entre el 1er. y 4to. año de la pastura, y el experimento IIb a los cultivares de festuca AU y AU+, entre el 1er. y 3er. año de edad. Se analizó la evolución de estas variables y su asociación con prácticas de manejo seguidas en verano como la carga, la cantidad de forraje remanente expresada a través de su altura.

4.2.1. Variables agrometeorológicas

En cuanto a las precipitaciones, el promedio de los cuatro veranos fue de 429 mm, como se presenta en la figura No. 5 del balance hídrico mensual con los mismos supuestos que el balance nombrado anteriormente. Se observaron como más relevante los picos de déficit hídrico de hasta 130 mm en dos momentos, primavera 2015 y 2016.

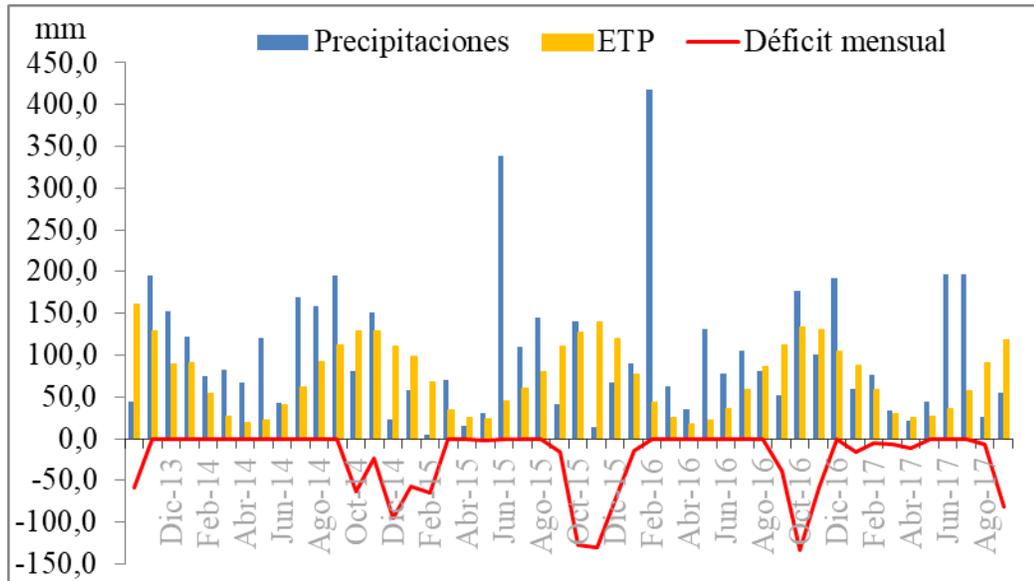


Figura No. 5. Balance hídrico mensual de la serie noviembre 2013 a noviembre 2017

Como se observa en la figura No. 6, entre diciembre 2013 y febrero 2014 las temperaturas medias máximas, mínimas y promedio fueron 29,6, 17,4 y 23,2°C respectivamente, Para los mismos meses de 2014 - 2015 los datos fueron, 28,6°C, 15,5°C y 21,9°C En el verano siguiente (2015 - 2016), las temperaturas registradas fueron mayores, 29,5°C, 15,7°C y 22,6°C. En 2016 - 2017 las temperaturas fueron 29,1°C, 16,0°C y 22,4°C de máxima, mínima y promedio respectivamente (figura No. 6). En el total de los veranos analizados, la temperatura promedio fue de 22,5°C.

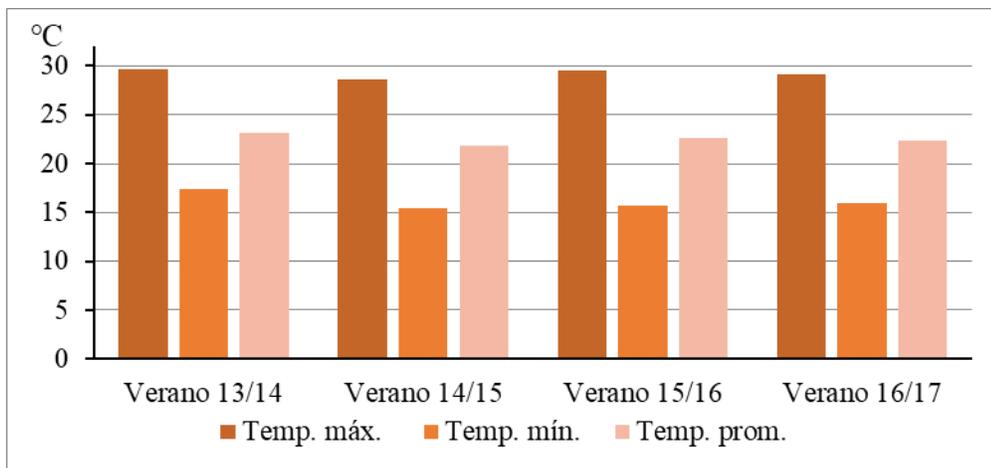


Figura No. 6. Temperaturas medias máximas (temp. máx.), mínimas (temp. mín.) y promedios (temp. prom.) en verano (diciembre - febrero).

4.2.2. Niveles de infección con el hongo endófito en los diferentes cultivares de festuca

En el cuadro No. 6 se presentan los niveles de infección de los 5 cultivares de festuca evaluados a través del tiempo. En primer lugar, los cultivares no inoculados (FO y AU) muestran niveles de infección nulos a mínimos, lo que se mantuvo a lo largo del ensayo. Por su parte, los cultivares inoculados difieren en sus niveles de infección. FO+ y K31 muestran niveles de infección promedio de 93,7 y 96,2% respectivamente. En cambio AU+ muestra en el año 2013 un nivel de infección de 30% que determinó su resiembra. En el período 2014-2017 el nivel de infección promedio fue de 59,4%.

Cuadro No. 6. Niveles de infección promedio (%) del hongo endófito en 5 cultivares de festuca entre 2013 y 2017.

Fechas	AU	AU+	FO	FO+	K31*
01/12/2013	1,2	30,0	0,2	96,3	97,0
07/05/2014	-	-	0,5	96,5	94,5
01/11/2014	6,0	54,3	-	-	-
17/12/2014	0,0	62,5	-	-	-
28/04/2015	0,0	60,7	0,0	86,7	95,8
10/05/2016	0,0	63,3	0,0	99,8	98,5
10/05/2017	0,0	56,0	0,0	89,0	95,0

*K31: infectada con cepa salvaje.

4.2.3. Experimento IIa. evolución de la densidad de pasturas de festuca fortuna y kentucky 31

Tal lo descrito en la sección Materiales y Métodos, el experimento IIa incluyó los cultivares FO, FO+ y K31 en el período 2013 y 2017. Se enfatizó en analizar el manejo estival de la pastura y las consecuencias en las variaciones en la dinámica poblacional. Para ello, se reporta información sobre la dotación manejada en los veranos y la cantidad de forraje remanente expresada por su altura.

4.2.3.1. Carga animal manejada

En la figura No. 7 se presentan las cargas utilizadas en los veranos expresadas como los kg de peso vivo por hectárea (PV kg/ha) para cada cultivar de festuca evaluado. En general, las cargas en cada año no difieren mayormente entre los cultivares, pero si difieren entre los distintos años. Se observa para todos los cultivares en el verano 14/15 la mayor carga, correspondiendo con el segundo año de la pastura. En el primer verano se dio la menor carga seguido por el verano 15/16, donde existió una carga casi similar a la del primer verano. En el 16/17 se incrementó la carga pero sin alcanzar los niveles del verano 14/15.

Analizando los datos por cultivar, el promedio de los 4 años para K31 fue de 628 PV kg/ha, un 37% por debajo del promedio general y un máximo al segundo año, 57% por encima. En cuanto a FO, el promedio fue de 743 PV kg/ha, con un máximo de 67% de carga más que el promedio y un mínimo de 38%. FO+ mantuvo en promedio 730 PV kg/ha a lo largo de los cuatro veranos, con variaciones entre un mínimo de 439 PV kg/ha (40% por debajo) y un máximo de 1245 PV kg/ha (71% por arriba).

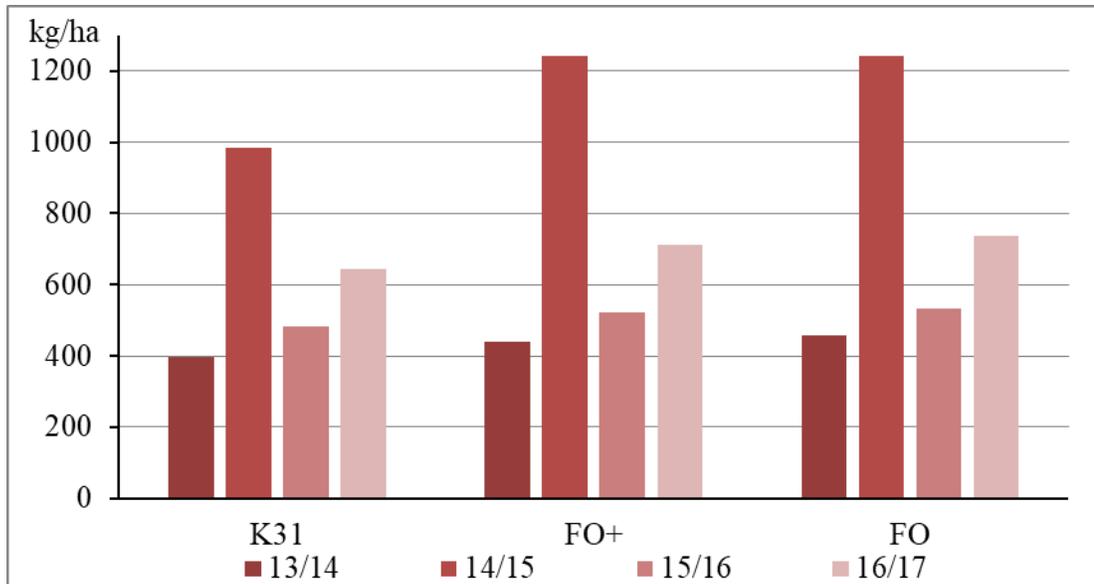
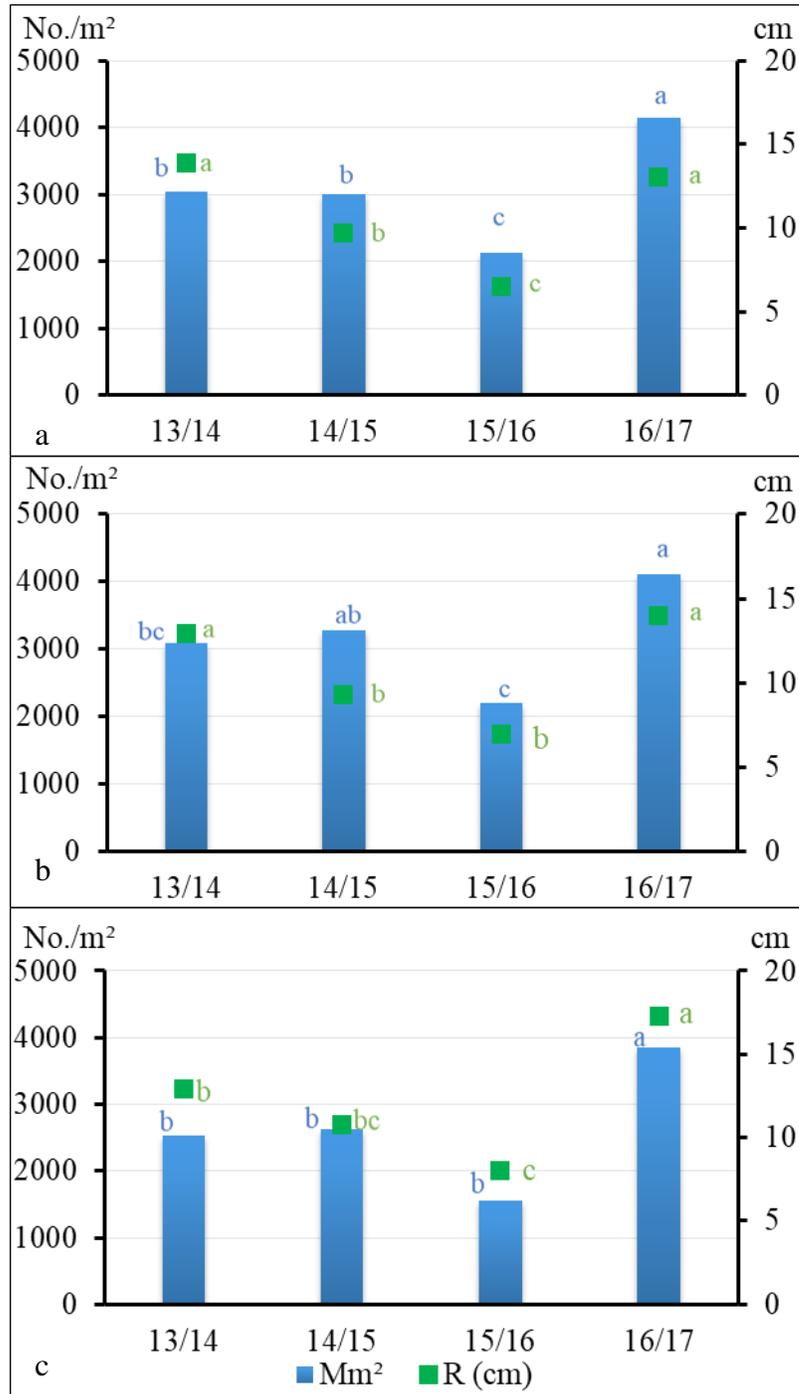


Figura No. 7. Carga animal (PV kg/ha) para 3 cultivares de festuca (K31, FO+ y FO) evaluados durante 4 veranos.

4.2.3.2. Relación entre la altura de forraje remanente post pastoreo en verano y la densidad otoñal de macollos en los cultivares de festuca

En la figura No. 8 se muestran las alturas del forraje remanente en el verano y la densidad de macollos del otoño siguiente, para los tratamientos FO (a), FO+ (b) y K31 (c). Se observa una evolución similar de ambos parámetros, aumentando o disminuyendo en forma simultánea. Los cultivares FO y FO+ mostraron densidades de macollos similares en los primeros dos otoños (entre 3000 y 3300 macollos/m²), mientras que K31 presentó densidades algo menores (2500 y 2600 macollos/m²). Los remanentes promedios de los veranos variaron en forma significativa entre el primer y segundo verano (p-valor <0,0001), disminuyendo para FO y FO+ pero no así para K31. En el tercer verano (15/16), se observaron diferencias significativas entre los remanentes (p-valor <0,0001), con las mayores disminuciones para FO, mientras que FO+ y K31 disminuyen aunque no difieren entre sí. En forma asociada, esto coincide con reducciones en la densidad de macollos. En el verano 2016 - 2017, se manejaron remanentes mayores para todos los cultivares que se asociaron con un incremento en la densidad de macollos en todos los casos.



Fortuna (a), Fortuna + AR584 (b) y Kentucky 31 (c) en el período 2013-2017.

Figura No. 8. Altura del forraje remanente post pastoreo en verano (R, cm) y densidad de macollos (No./m²) en el otoño posterior, en 3 cultivares de festuca.

4.2.3.3. Evolución de la densidad y peso de macollos en los cultivares de festuca

La evolución tanto del peso como la densidad de los macollos tuvo una tendencia similar en todos los tratamientos a lo largo del período experimental. Como se observa en la figura No. 9 todos muestran una caída en el otoño 2016 y luego un aumento notorio al año siguiente. También se observa que en el primer año todos los PS son mayores y luego tienen un marcado descenso mientras que los macollos se mantienen durante los otoños de 2014 y 2015. Coincidiendo con la disminución de los macollos en 2016, los PS muestran un leve descenso. Por otra parte los pesos de macollos en el 2017 no muestran grandes variaciones mientras si la presenta la densidad de macollos en el mismo año.

Observando la evolución del tratamiento FO sin hongo en la figura No. 9, se aprecia el mismo número de unidades de crecimiento por m² en 2014 y 2015 y luego en 2016 descienden diferenciándose estadísticamente de las anteriores. Al otoño siguiente aumentaron en más de 2000 macollos con respecto al año anterior, siendo el año con mayor cantidad de macollos por m² de la serie (p-valor 0,0018). El peso seco por m² del año 2014 fue mayor a los siguientes tres años estadísticamente, estando 113, 137, 120 g por encima al 2015, 2016 y 2017 respectivamente (p-valor 0,0033).

Con respecto al peso seco por m² en el tratamiento de FO+ ocurre algo similar que en FO, el año 2014 se diferencia estadísticamente del resto (p-valor 0,0407). En lo que refiere al número de macollos no existen diferencias estadísticas entre 2017 y 2015, 2015 y 2014 ni entre 2014 y 2016 (figura No. 9).

En el caso K31 no existieron diferencias significativas en los pesos de macollo por m². En cuanto al número de macollos, en la figura No. 9 se observa que 2017 fue superior al resto de los años estadísticamente (p-valor 0,005).

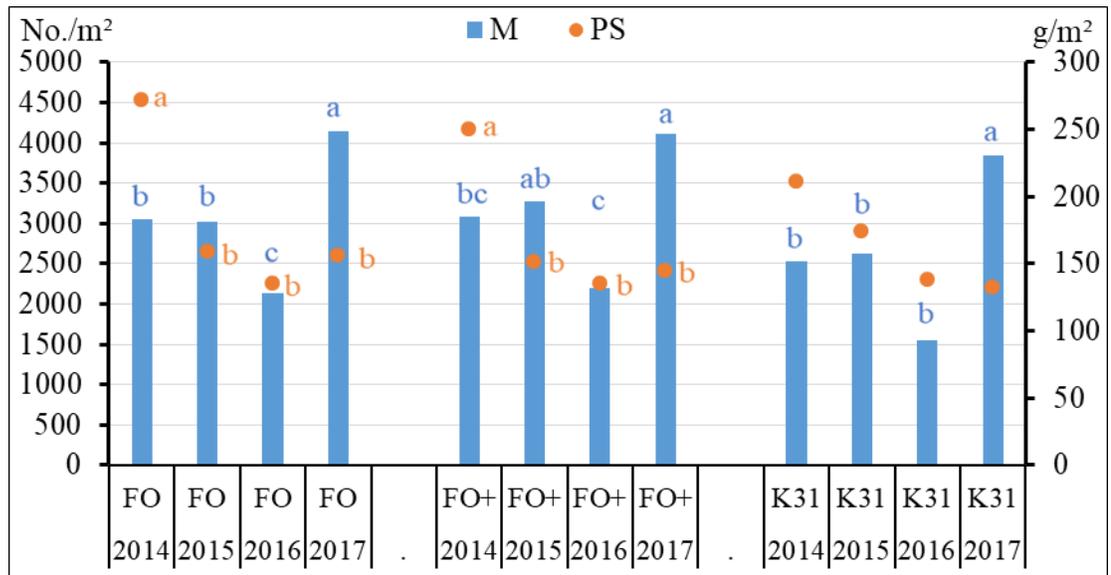


Figura No. 9. Evolución de la densidad de macollos/m² (M, No./m²) y peso de macollos/m² (PS, g/m²) en fortuna con y sin endófito y kentucky 31.

4.2.3.4. Relación entre densidad y peso de macollos/m² por variedad en cada año

Comparando los tratamientos dentro de cada año se concluye que no existen diferencias significativas para macollos entre FO, FO+ y K31 para ningún año (figura No. 10). Además tampoco existieron diferencias estadísticas para PS en la serie de años.

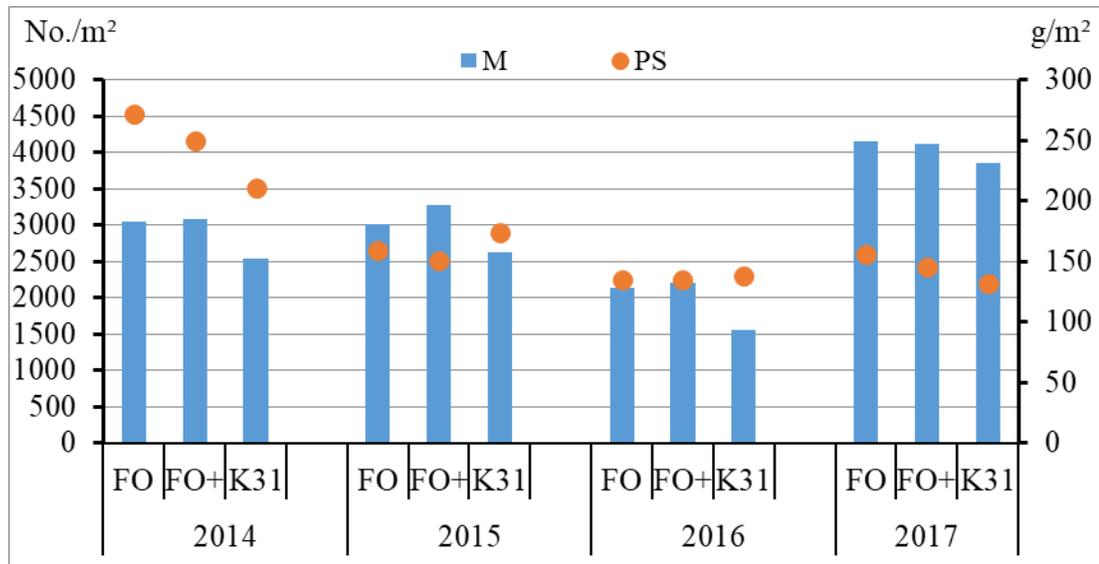


Figura No. 10. Comparación de la densidad de macollos/m² (M, No./m²) y peso de macollos/m² (PS, g/m²) entre tratamientos dentro de cada año (otoño).

4.2.3.5. Relación entre la densidad de macollos/m² y el peso individual de los mismos

En la figura No. 11 se observa que las evoluciones tanto de macollos/m² como el peso individual de macollos (PI) en las 3 variedades fueron similares, destacándose la similitud entre FO y FO+, sin embargo difieren los resultados de K31 sobre todo en 2015 y 2016. Además se ve como la densidad de macollos en 2016 muestra una caída respecto al año anterior, aumentando al 2017, año en el cual la densidad fue la máxima para todas las variedades y el PI fue el mínimo. También existe una tendencia a que el PI sea mayor en el primer año con la salvedad de K31 que no se diferencia con 2016. Por más que en 2014 - 2015 las poblaciones se mantuvieron estables, en general todos muestran una caída importante en el peso de los macollos en 2015. Lo contrario ocurre en 2016, donde disminuyen los macollos y aumentan los PI.

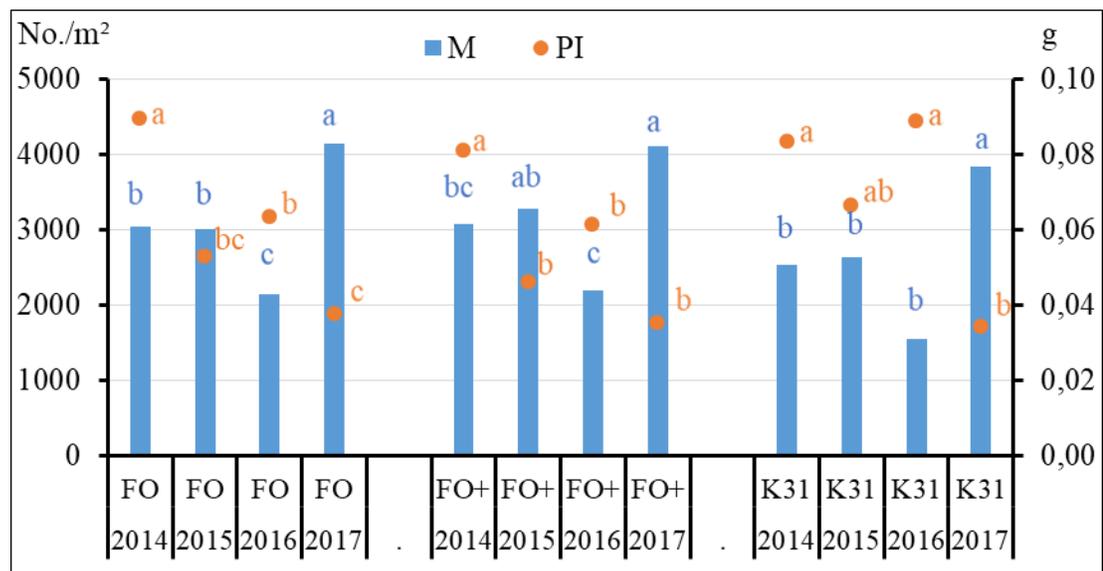


Figura No. 11. Evolución (2014 - 2017) de la densidad de macollos (M, No./m²) y peso individual de macollo (PI, g) por variedad.

Si se comparan las variedades dentro de los años (figura No. 12), se aprecia que no existen diferencias significativas entre los cultivares FO, FO+ y K31 para los 4 años tanto para macollos/m² como para el peso individual de los mismos.

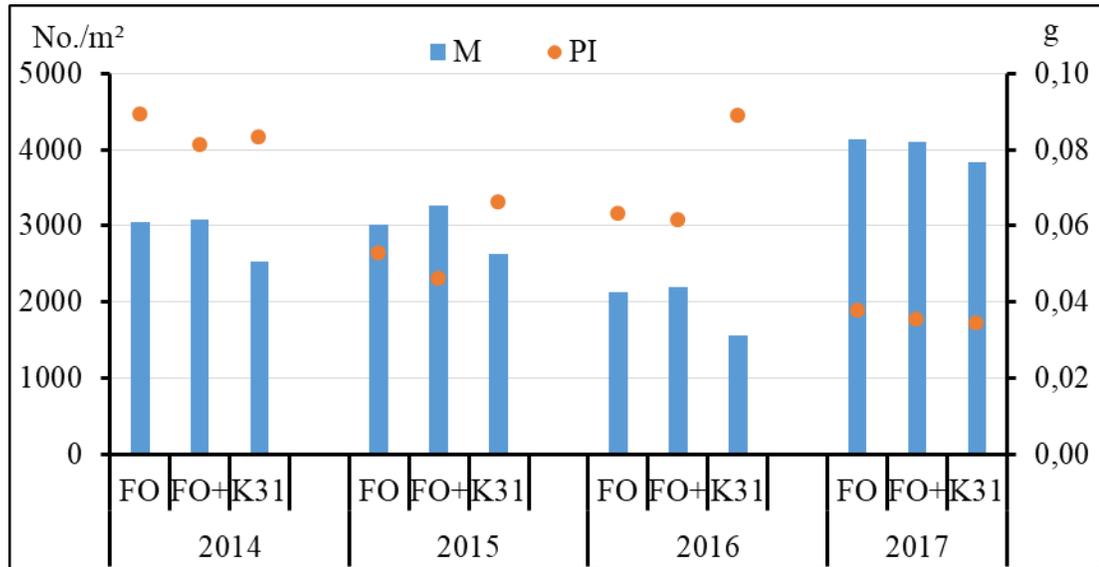


Figura No. 12. Comparación de la densidad de macollos (M, No./m²) y peso de macollo individual (PI, g) entre variedades en cada año.

En la siguiente figura (No. 13a-l) se presentan las regresiones entre el peso individual de macollos y la densidad de los mismos para los cultivares FO, FO+ y K31 en cada año. Para el año 2014, en la figura No. 13a-c, se observaron los menores ajustes de los modelos (anexo No. 8), dado a una mayor dispersión de los valores de peso. Al año siguiente, en la figura No. 13d-f, los ajustes fueron mayores para las variedades, se observa una relación inversa entre el número de macollos y el peso de los mismos. En 2016 (figura No. 13g-i) se puede comprobar que el número de macollos se reduce, existiendo un rango amplio entre los pesos de macollos. En 2017 (figura No. 13j-l), los macollos por m² aumentaron en todos cultivares respecto al 2016, contrariamente el peso individual se reduce respecto al año anterior, con un rango de variación acotado.

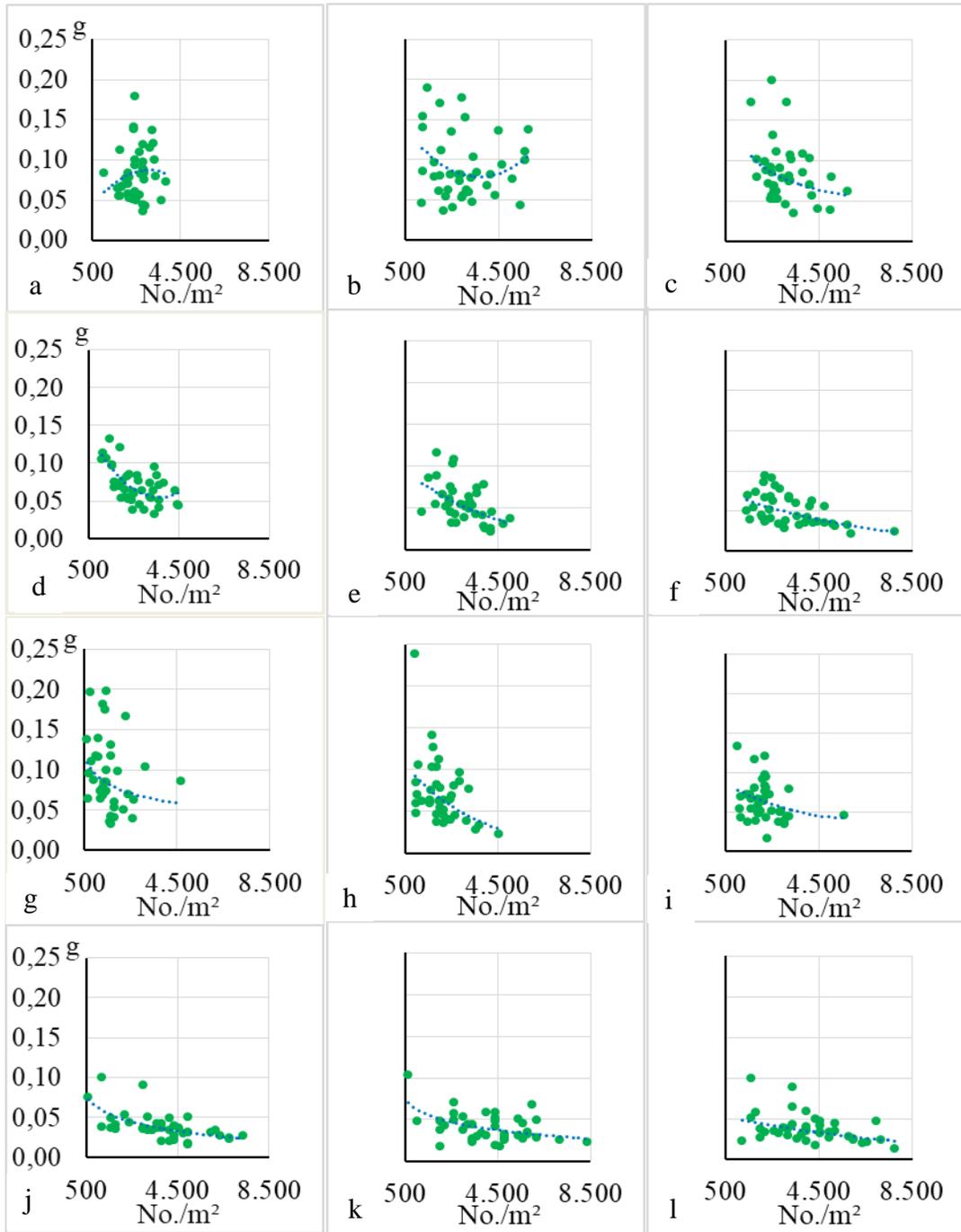


Figura No. 13. Regresión entre el número (No./m²) y peso individual de macollos (PI, g) en K31 2014 (a), FO 2014 (b), FO+ 2014 (c), K31 2015 (d), FO 2015 (e), FO+ 2015 (f), K31 2016 (g), FO 2016 (h), FO+ 2016 (i), K31 2017 (j), FO 2017 (k), FO+ 2017 (l)

4.2.4. Experimento IIb. evolución de la densidad de pasturas de festuca aurora

Tal lo descrito en la sección Materiales y Métodos el experimento IIa incluyó los cultivares AU y AU+ en el período 2014 y 2017. Se enfatizó en analizar el manejo estival de la pastura y las consecuencias en las variaciones en la dinámica poblacional. Para ello, se reporta en primer término la información sobre la dotación manejada en los veranos y la altura del forraje remanente post-pastoreo.

4.2.4.1. Carga animal manejada

En el experimento IIb (AU+ y AU) las cargas promedios en los veranos 14/15 y 15/16 fueron similares, existiendo un aumento al verano siguiente de 140 PV kg/ha en AU y 110 PV kg/ha en AU+ aproximadamente (figura No. 14).

Analizando por variedad para los tres años, el promedio de AU fue de 618 PV kg/ha, llegando a estar un 9% por debajo y un 16% por encima. En cambio para AU+ el promedio fue de 615 PV kg/ha, con un rango de variación de 565 (8% menos que el promedio) y 695 PV kg/ha (13% más que el promedio).

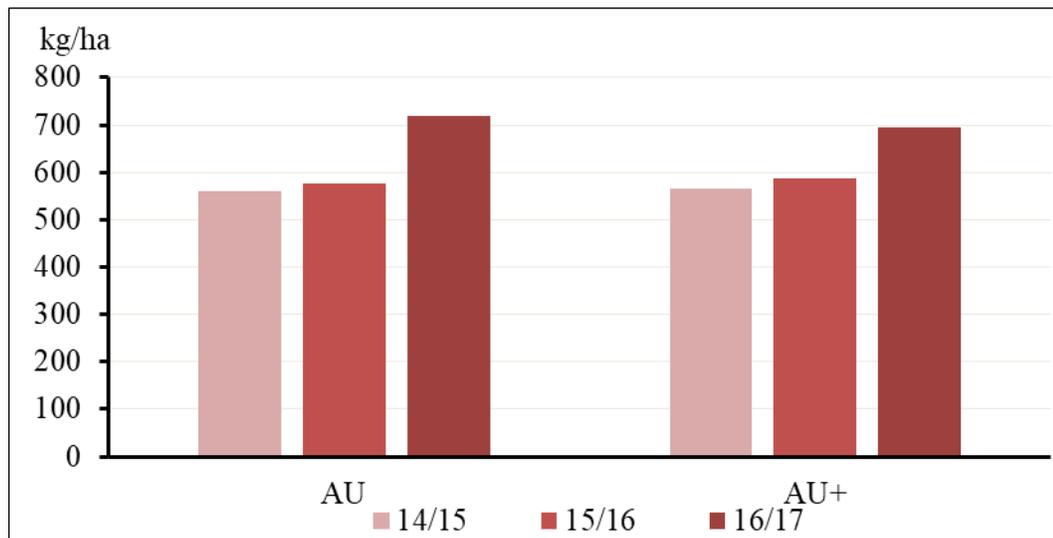
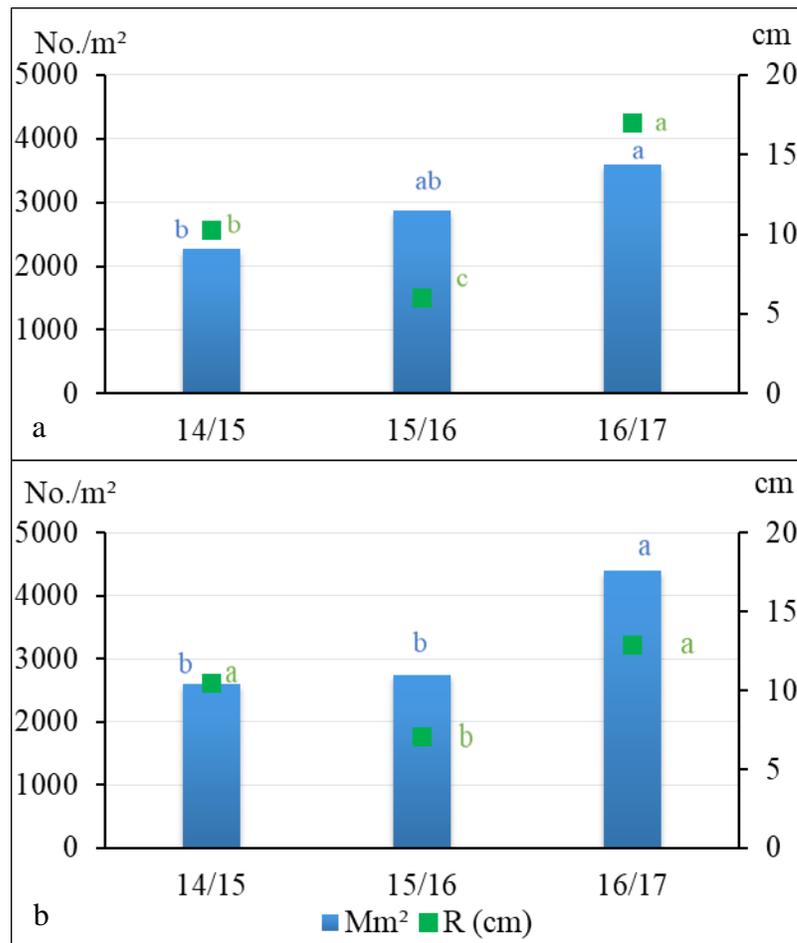


Figura No. 14. Carga animal (PV, kg/ha) para 2 cultivares de festuca (AU y AU+) evaluados durante 3 veranos.

4.2.4.2. Relación entre la altura de forraje remanente post pastoreo en verano y la densidad otoñal de macollos en los cultivares de festuca

Al igual que en el experimento IIa los tratamientos AU y AU+ muestran una evolución similar en los otoños, aunque con distintos valores de macollos/m². En el otoño 2017 existió un aumento significativo con un p-valor 0,009 en AU y <0,0001 en AU+ (análisis de la varianza en anexo No. 10). En cuanto a los remanentes promedios que se obtuvieron en el verano anterior al conteo de la densidad de macollos, en las figuras No. 14a-b se destaca que fueron muy similares en cada verano, ambos tratamientos tuvieron un pastoreo más intenso en el verano 15/16 con remanentes de AU 6,9 cm (figura No. 14a) y AU+ 7,0 cm (figura No. 15b), y un pastoreo más aliviado en el verano 16/17 AU 14,3 cm y AU+ 12,8 cm, diferenciándose del verano anterior con un p-valor de 0,007 y 0,0021 respectivamente (anexo No. 10).



Aurora (a) y Aurora + AR584 (b) período 2014-2017.

Figura No. 15. Altura del forraje remanente post pastoreo en verano (R, cm) y densidad de macollos (No./m²) en el otoño posterior, en 2 cultivares de festuca.

4.2.4.3. Evolución de la densidad y peso de macollos en los cultivares de festuca

En el caso de las variedades de Aurora, tal como se observa en la figura No. 16, tienen un comportamiento similar en la evolución de los tres años de la población de macollos, aunque se puede destacar un aumento más notorio en el tratamiento AU+ en otoño 2017 presentando 1644 macollos/m² más que en 2016 (p-valor <0,0001). En el caso de AU las diferencias en densidad de macollos existieron únicamente entre 2015 y 2017 (p-valor 0,009). En cuanto al peso de macollos tanto en AU como AU+ tienden a una figura similar aunque con valores diferentes, ambas presentan el máximo en el otoño 2016 y el mínimo en el 2017. En AU+ no existieron diferencias significativas para PS entre los 3 años, si hubieron en AU entre 2016 y los otros años (p-valor 0,0458).

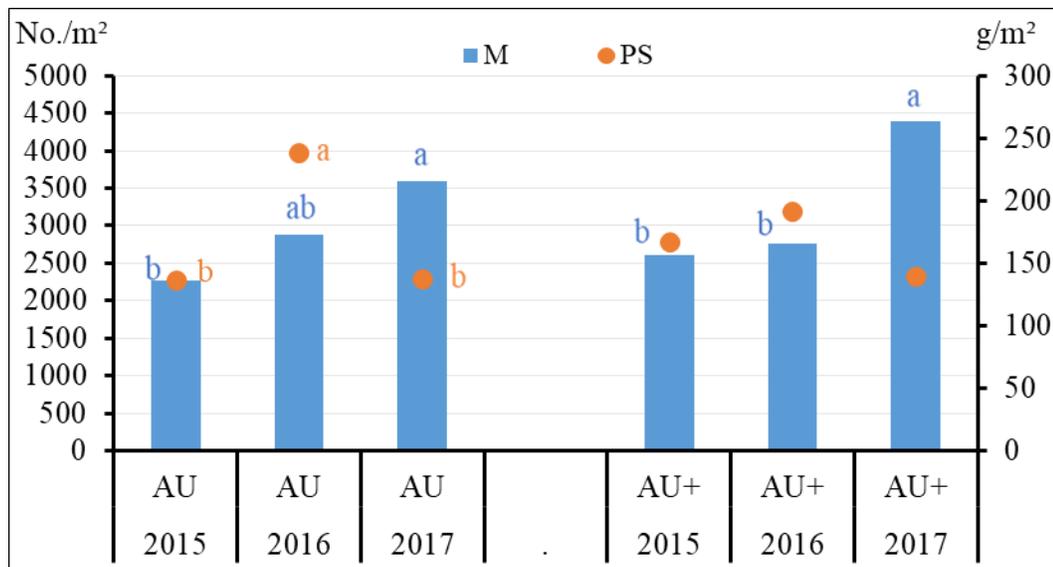


Figura No. 16. Evolución de la densidad de macollos/m² (M, No./m²) y peso de macollos/m² (PS, g/m²) en aurora con y sin endófito.

4.2.4.4. Relación entre densidad y peso de macollos/m² por variedad en cada año

Estudiando las diferencias para las variedades de Aurora dentro de cada año, en la figura No. 17, se aprecia que para la variable macollos/m², el tratamiento AU+ fue superior a AU únicamente en 2017 (p-valor 0,0151). En cuanto al PS no existieron diferencias significativas entre los tratamientos en ningún año.

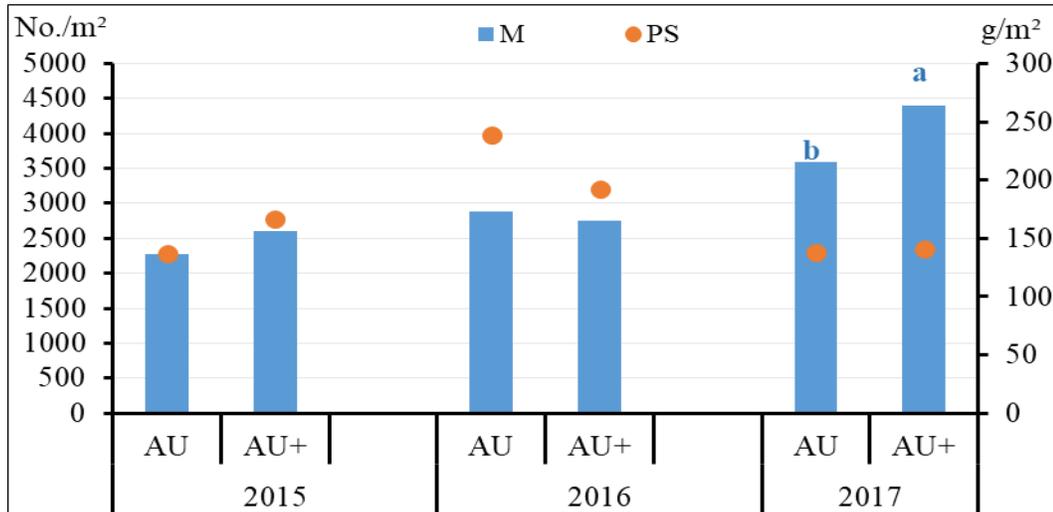


Figura No. 17. Comparación de la densidad de macollos/m² (M, No./m²) y peso de macollos/m² (PS, g/m²) entre tratamientos dentro de cada año (otoño).

4.2.4.5. Relación entre la densidad de macollos/m² y el peso individual de los mismos

Tal como se puede observar en la figura No. 18, en el año 2017 existe un aumento significativo en el número de macollos y una disminución muy relevante en el peso de los mismos con respecto a los años anteriores tanto para AU como para AU+. AU se diferenció estadísticamente tanto en densidad como en PI con p-valor de 0,009 y 0,0304 respectivamente, sin embargo AU+ tiene diferencia significativa solo para macollos/m² (p-valor <0,0001), aunque los PI de 2017 son un 54% menor a 2016.

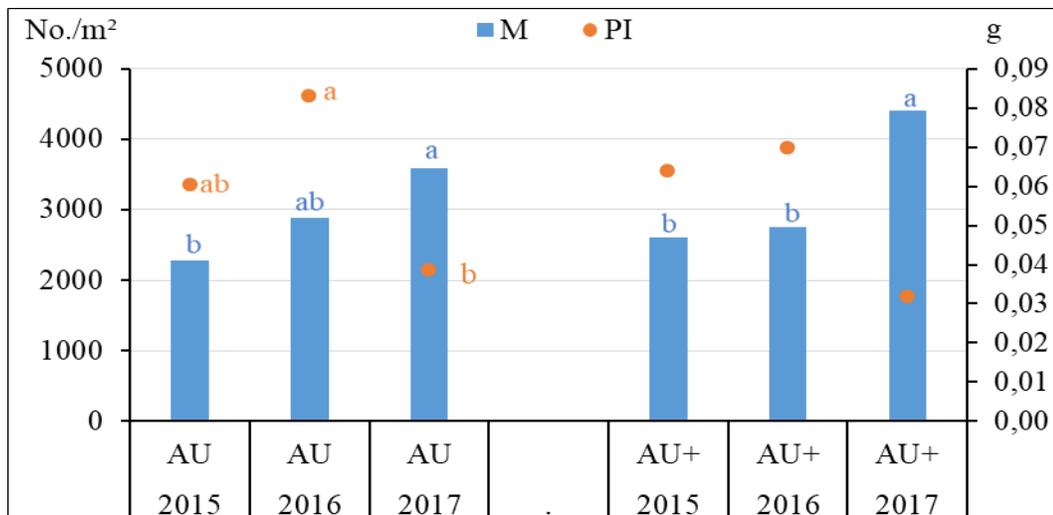


Figura No. 18. Evolución (2015 – 2017) de la densidad de macollos (M, No./m²) y peso de macollo individual (PI, g) por variedad.

Tal como se observa en la figura No. 19, no existieron diferencias significativas en PI en ningún año. En cuanto a la población de macollos únicamente en 2017 existieron diferencias entre los cultivares (p-valor 0,0151).

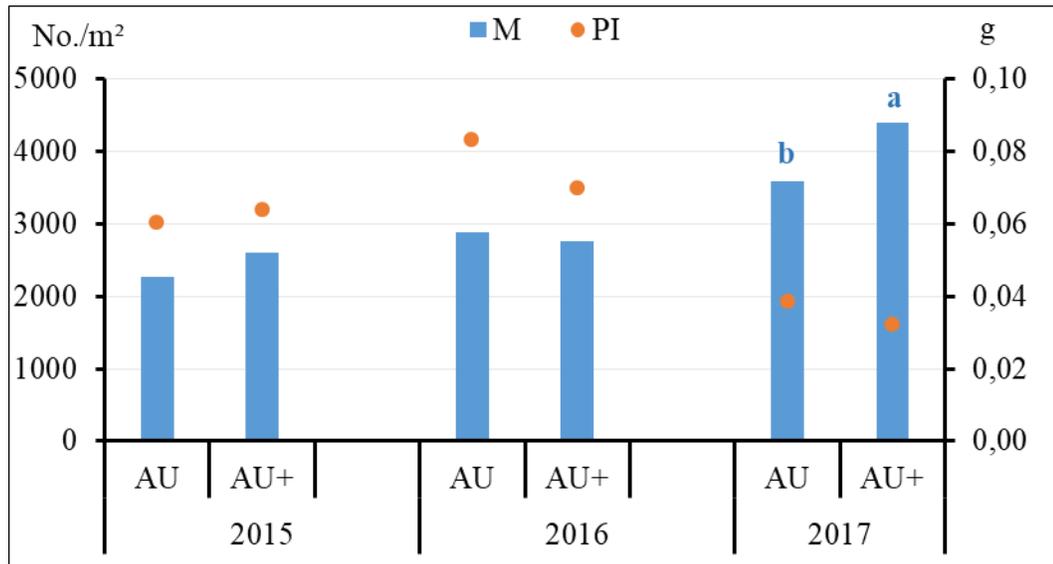


Figura No. 19. Comparación de la densidad de macollos (M, No./m²) y peso de macollo individual (PI, g) entre variedades en cada año.

Como se observa en la figura No. 20a y 20b, en el primer año no existieron grandes diferencias entre los cultivares en cuanto a la dispersión de las mediciones, a su vez el R² fue bajo para ambas. Éste aumenta al segundo año (figura No. 20c-d), notándose un cambio en la distribución de los puntos, es de destacar la pendiente que hay en ambos tratamientos. En el año 2017 existió un importante aumento en la densidad de macollos para ambos cultivares, lo cual explica en parte los bajos valores de peso (figura No. 20e-f). Además cabe señalar los bajos ajustes que presentan ambas variedades, no se visualiza una relación inversa entre estas variables (análisis de varianza en anexo No. 9).

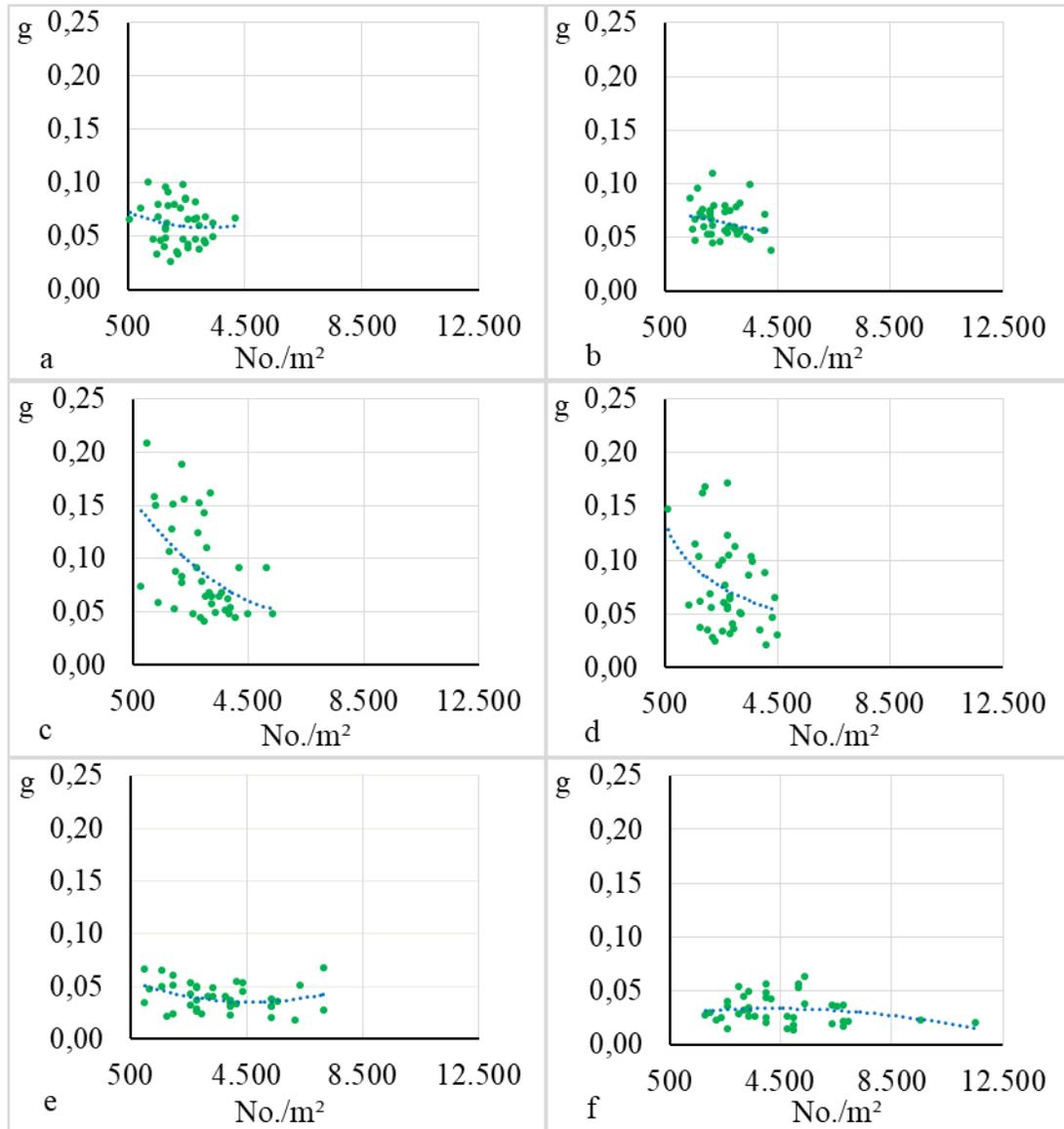


Figura No. 20. Regresión entre el número (No./m²) y peso individual de macollos (PI, g) en AU 2015 (a), AU+ 2015 (b), AU 2016 (c), AU+ 2016 (d), AU 2017 (e) y AU+ 2017 (f).

5. DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta la información disponible para la región sobre las relaciones específicas estudiadas entre las variables cultivar/endófito/ambiente/manejo, se tratará de aportar algunos elementos que surgen de los experimentos analizados para mejorar el conocimiento existente.

Es por ello, que se enfatiza en responder algunas preguntas que explican los principales objetivos del trabajo:

- a) ¿Cuál es la magnitud en términos de la mortalidad de macollos de festuca durante el verano?
- b) ¿Existen variaciones en los niveles de sobrevivencia de diferentes cultivares de festuca?
- c) ¿La tecnología de los hongos endófitos es una herramienta efectiva en términos de reducir este problema?
- d) ¿La intensidad de defoliación (3 vs. 10 cm) condiciona la sobrevivencia de festuca?
- e) ¿Cómo varía la pastura frente a manejos y condiciones ambientales en el largo plazo?

El aspecto más crítico en la sobrevivencia de los macollos de festucas de tipo continental es el manejo del pastoreo, en particular en períodos del año donde ocurren determinadas restricciones ambientales. Esto ocurre particularmente en los meses de verano cuando generalmente se registran temperaturas elevadas y déficit hídricos que inciden en la persistencia de esta especie. El análisis incluyó la información proveniente de la base de registros meteorológicos de INIA Treinta y Tres, en términos de precipitaciones y temperaturas en el verano, para compararlas con los niveles de sobrevivencia obtenidos. La dinámica de la pastura en el largo plazo, medida a través de las relaciones de densidad y peso de los macollos, es un mecanismo que posibilita ver la evolución en el tiempo de pasturas sometidas al pastoreo y las variaciones climáticas en una serie de entre 3 a 4 años según los casos analizados. De acuerdo con la teoría de la compensación de densidad y tamaño de macollos, esto es posible cuando la masa de forraje es baja (Matthew et al., 1995), como ocurre en invierno. También en primavera y otoño, cuando suele haber una gran masa de forraje, podría esperarse una baja densidad de los macollos o viceversa, sin consecuencias en el volumen de forraje producido.

A manera de síntesis se presenta el cuadro No. 7 con resultados de sobrevivencia reportados por distintos autores. En general, se observa un rango amplio en dichos niveles, que va desde 28 a 85%. En promedio la serie de datos presenta un valor mínimo de 49%, y un máximo de 79%. El presente experimento mostro valores similares, entre 42 y 83%, mínimo y máximo respectivamente.

Cuadro No. 7. Resumen sobre reportes de diferentes experimentos que miden la sobrevivencia estival de festuca.

Especie/lugar	Sobrevivencia (%)	Observaciones	Reportado
<i>Festuca arundinacea</i> cv. La Sorpresa Lugar: EEMAC	28-68	<u>Fecha:</u> 11/2011- 3/2012. <u>Variables:</u> intensidad: 6-12 cm. Biomasa aérea.	Michelini (2016)
<i>Festuca arundinacea</i> cv. Tacuabé Lugar: EEMAC	68-83	<u>Fecha:</u> 11/2012 - 4/2013. <u>Variables:</u> intensidad: 9-12 cm. Dosis de N.	Jáuregui et al. (2016)
<i>Festuca arundinacea</i> cv. Kentucky 31, Aurora y Fortuna Lugar: INIA Palo a Pique	67-85	<u>Fecha:</u> 12/2015 - 3/2016. <u>Variables:</u> intensidad: 3,5-7 cm. Hongo endófito.	Becerra (2017)
<i>Festuca arundinacea</i> cv. Aurora y Fortuna Lugar: La Estanzuela	50-82	<u>Fecha:</u> 12/2016 - 4/2017. <u>Variables:</u> intensidad: 3-10 cm. Hongo endófito.	Larratea et al. (2018)
<i>Festuca arundinacea</i> cv. Aurora y Fortuna Lugar: Glencoe	38-74	<u>Fecha:</u> 12/2016 - 4/2017. <u>Variables:</u> intensidad: 3-10 cm. Hongo endófito.	Larratea et al. (2018)
<i>Festuca arundinacea</i> cv. Aurora y Fortuna Lugar: INIA Palo a Pique	42-83	<u>Fecha:</u> 12/2016 - 4/2017. <u>Variables:</u> intensidad: 3-10 cm. Hongo endófito.	Herken et al. (2019)

La incidencia de las altas temperaturas en el crecimiento y sobrevivencia de macollos fue reportada por Jáuregui et al. (2016). Para este experimento, la mayor mortalidad ocurrió en diciembre, coincidiendo con temperaturas mayores a 30°C e inclusive mayores a 35°C. El rango considerado como óptimo para el crecimiento (20 - 25 °C) representó un 94,7 % del tiempo. Los períodos con mayor mortandad de macollos (P1 y P4) coinciden con momentos post defoliación, lo cual se constató que también fue reportado por Larratea et al. (2018). Lo que posiblemente debilita en forma adicional a los macollos, por la demanda energética que se genera para el rebrote en condiciones de menor área foliar (Davies, 1988), rebrote que depende de la cantidad de material remanente para reiniciar el proceso de acumulación de biomasa. Este proceso se enlentece en la medida que las defoliaciones son severas lo que hace que la planta experimente períodos de balance negativo de carbono, que no pueden ser suplidos por el sistema radicular en forma inmediata (Thornton y Millard, 1996).

Evaluando la sobrevivencia de macollos a nivel general de cada cultivar, se vio que Fortuna finalizó 11% sobre Aurora (65% vs. 54%), por lo cual se considera una diferencia a tener en cuenta.

Una de las preguntas planteadas es la existencia de un efecto positivo en la sobrevivencia estival por la inclusión del endófito AR584, no encontrándose un mejor desempeño en la sobrevivencia estival para ningún caso. Estos resultados son coincidentes con 2 trabajos nacionales realizados por Becerra (2017) en la misma pastura, y los ensayos en INIA La Estanzuela y Glencoe presentados por Larratea et al. (2018) con los mismos cultivares. Si bien se analizaron los cultivares por separado debido a su diferente edad, las mayores sobrevivencias obtenidas en FO+ respecto a AU+ se podrían deber a un mayor nivel de infección para el primero (figura No. 21a y No. 21b).

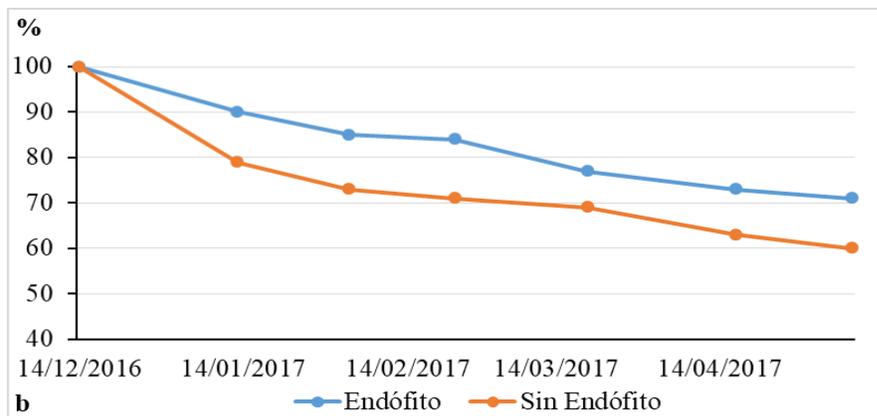
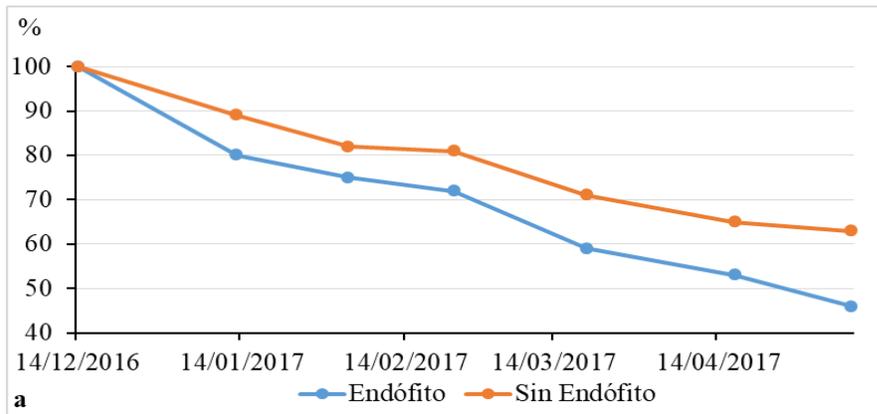


Figura No. 21. Sobrevivencia estival en aurora (a) y fortuna (b) en cultivares inoculados y sin inocular

Otra de las interrogantes planteadas se refería a la incidencia de variables de manejo de la defoliación y su efecto en la sobrevivencia de macollos. En tal sentido, la

comparación entre dos alturas de remanente contrastantes (3 vs. 10 cm) no presenta diferencias significativas en Aurora, pero si en Fortuna.

En el caso de Fortuna (figura No. 22b), cortes a 10 cm mostraron un 17% más de sobrevivencia que a 3 cm. La incidencia de altas temperaturas a nivel del suelo es perjudicial para la planta debido a que afectan en mayor medida la actividad de raíces y a los pequeños brotes, así como también la actividad fotosintética en general (Huang, 2004). Por tanto, mayores coberturas de suelo permitirían amortiguar la incidencia de las altas temperaturas en el verano y reducir así la mortalidad de macollos.

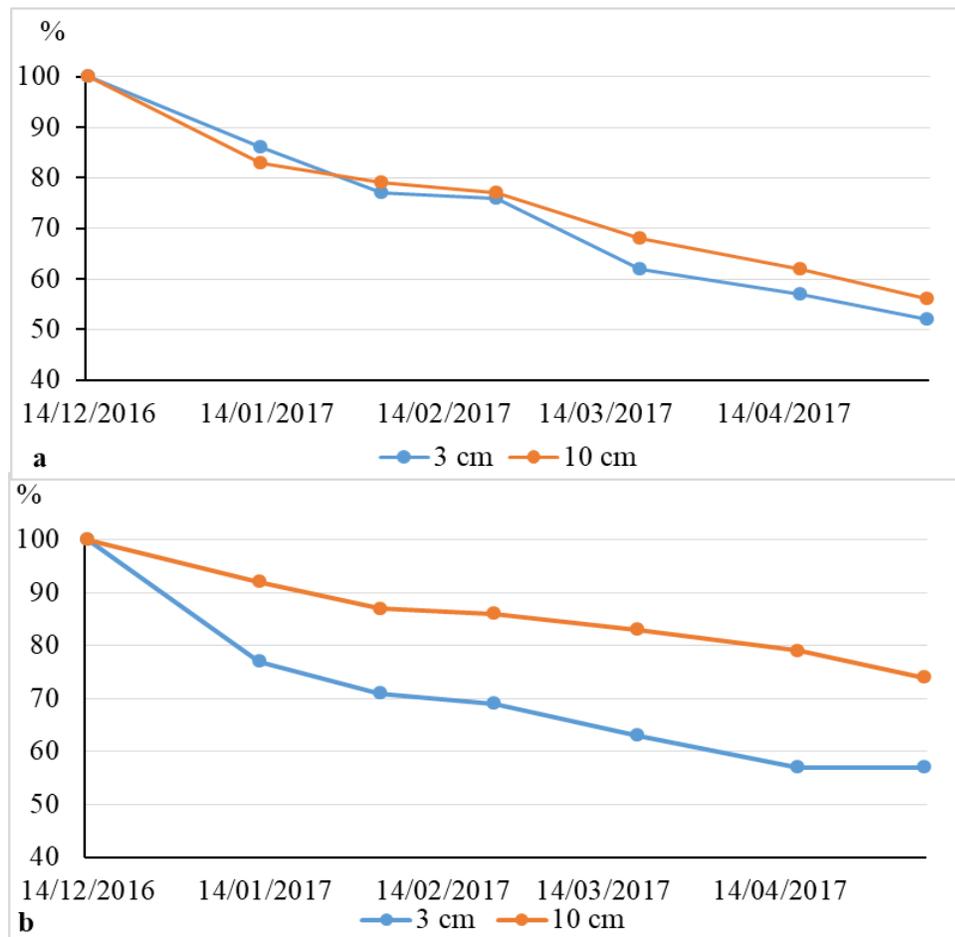


Figura No. 22. Sobrevivencia estival en aurora (a) y fortuna (b) según intensidad de corte

Por su parte en Aurora (figura No. 22a), si bien no se determinaron diferencias significativas entre las alturas de corte, se registró una tendencia donde la sobrevivencia fue un 4% superior en los cortes a 10 cm respecto a 3 cm. El tratamiento AU+ 10 cm mostró una mayor variabilidad, presentando un desvío estándar de 24% y coeficiente de

variación de 58% (anexo No. 2), tales niveles de variabilidad no permiten realizar una conclusión confiable.

Datos de sobrevivencia presentados por Larratea et al. (2018) en los mismos cultivares y métodos de muestreo, reportan entre 40 y 60% de sobrevivencia para cortes a 3 cm y entre 55 y 95% en cortes a 10 cm, que concuerdan con este trabajo a excepción de lo que ocurre en la intensidad de 10 cm donde este trabajo reporta un 10% menos. Por su parte, Becerra (2017) no encontró diferencias significativas entre cortes a 3,5 y 7 cm en un trabajo realizado con los mismos cultivares y en el mismo sitio experimental.

En cuanto a la dinámica poblacional se evaluaron datos de un ensayo a campo, manejado a una escala productiva bajo pastoreo con la dificultad que ello conlleva. El ensayo comenzó en el año 2013 y ha brindado una amplia base de datos para este y otros experimentos con la cual se quiso evaluar el nivel de plasticidad de la festuca frente a distintos manejos, sumándole la extensa información generada a lo largo de los años con condiciones climáticas contrastantes.

Parece pertinente mencionar las altas densidades de macollos a nivel general que existieron durante el periodo evaluado para todos los cultivares, en promedio 3011 macollos/m² variando entre 1552 y 4397 macollos/m². A modo de referencia se toman estudios realizados por Scheneiter y Assuero (2010) en Buenos Aires, en los cuales obtuvieron valores entre 1814 y 2552 macollos/m², los cuales son similares a los datos reportados por Michelini (2016) en Paysandú con 2800 macollos/m² y Scheneiter y Améndola (2012) en torno a 1500 macollos/m². En cambio si comparamos con los reportados por Faber (2012) en Paysandú, las densidades obtenidas estuvieron por debajo en 2439 macollos/m² pero cabe destacar que la pastura era de segundo año en mezcla con leguminosa y de un año en particular.

No se detectaron diferencias entre los cultivares a nivel de la densidad, peso seco por unidad de superficie y peso individual de macollos dentro de cada año. En cuanto al manejo del pastoreo entre años, se constató que existieron diferentes alturas de los remanentes, principalmente un verano con remanentes bajos 6 - 7 cm (15/16) y otro con remanentes altos 13 - 17 cm (16/17). Cabe destacar que el primero coincide con el de menores precipitaciones (221 mm) y el 16/17 con altas (30% por encima del promedio histórico). Las condiciones del primero afectaron la densidad de macollos de Fortuna y Kentucky 31 con una disminución en promedio de 1000 macollos/m², contrariamente Aurora presentó un leve aumento en la densidad de macollos, aunque sin diferenciarse estadísticamente. Esta diferencia se puede atribuir a que Aurora permanecía en el segundo año y según (García et al., 1981) en este se alcanza el pico máximo de producción. En el verano 16/17 existió un gran aumento en el número de macollos/m² para todos los cultivares, posiblemente asociado a las condiciones climáticas y a una mayor altura de remanente manejada.

En cuanto a las variables de manejo, carga (PV kg/ha) y altura de remanente (cm) en verano, se vio que no existieron diferencias significativas entre los cultivares dentro de cada año. Sin embargo, si se comparan las variables entre años si existieron diferencias, generando condiciones contrastantes a los efectos de observar la respuesta de las pasturas.

Estudiando la interacción entre la altura de remanente en el verano y la densidad de macollos al otoño siguiente, se observa que a mayor altura existe una tendencia a aumentos en el número de macollos/m² (figura No. 23). También es pertinente mencionar que las densidades de macollos no manifestaron un descenso con el paso de los años, como es de suponer en una curva típica de producción de pastura, en la cual se logra un máximo de producción al segundo año a partir del cual comienza a descender (García et al., 1981). Para este ensayo el cuarto año fue el de mayor cantidad de macollos/m² a nivel general.

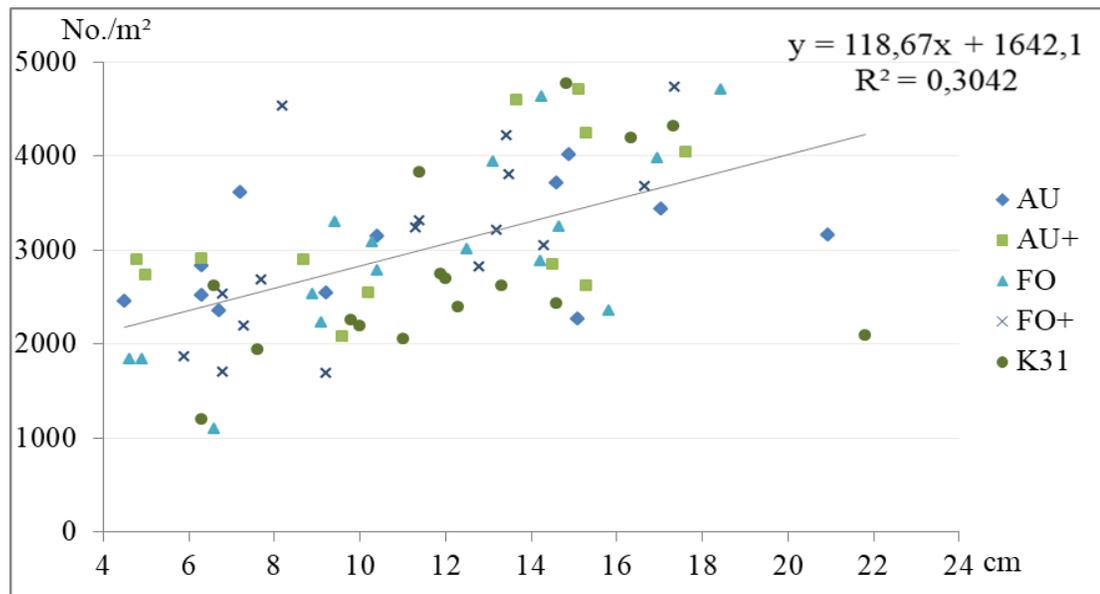


Figura No. 23. Relación entre la altura de remanente (cm) en verano y el número de macollos (No./m²) en otoño.

En cuanto a la relación entre peso individual y densidad de macollos, la tendencia general en todos los cultivares es que a mayores densidades de macollos se reduce el peso individual de los mismos (figura 24a-e). Dada la variabilidad entre años las correlaciones fueron bajas, alcanzando el mayor ajuste en K31 ($R^2 = 0,3509$ anexo No. 8) Comparando la respuesta de todos los cultivares, se ve que todas las curvas mantienen un patrón similar.

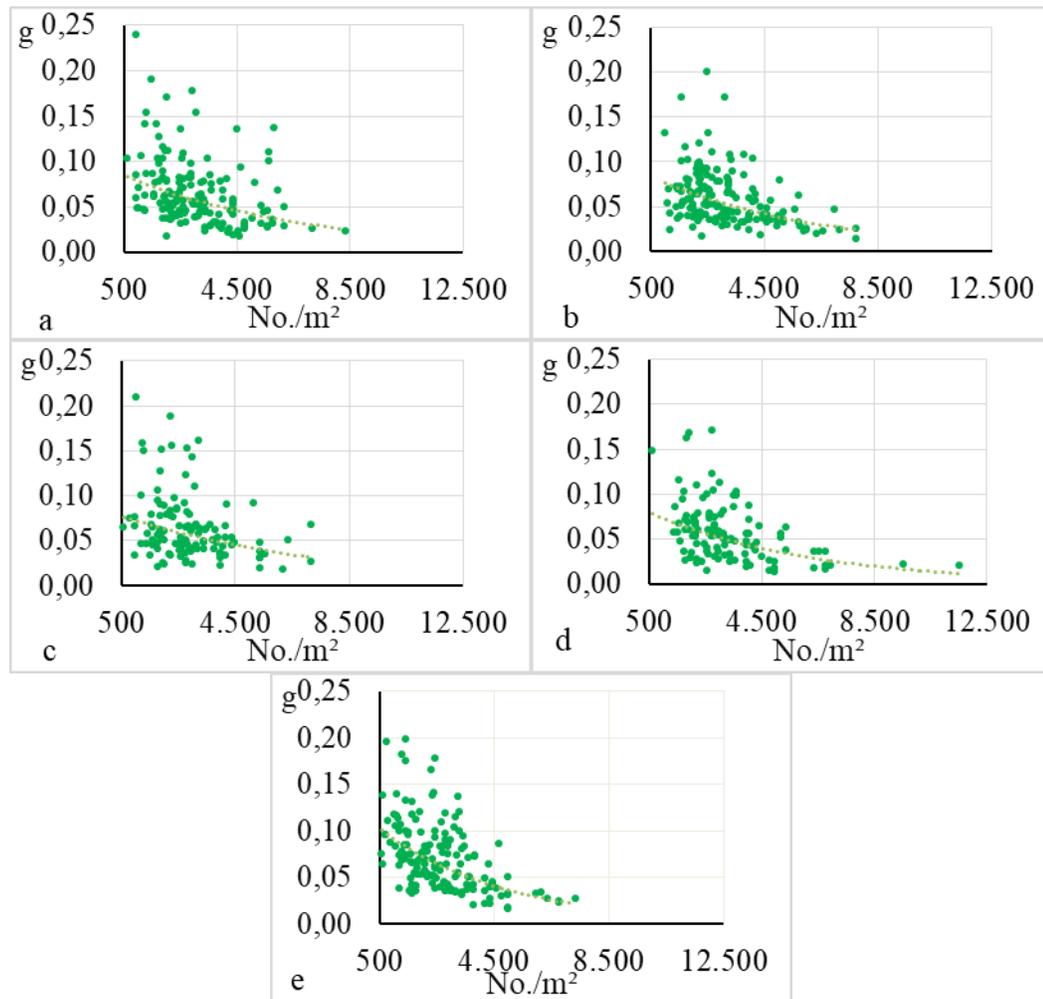


Figura No. 24. Regresión entre el número (No./m²) y peso individual de macollos (PI, g) en FO (a), FO+ (b), AU (c), AU+ (d) y K31 (e) para el total de los años

En la figura No. 25 se relacionan los datos de peso individual de macollos y densidad de los mismos con los de producción de materia seca de la pastura (datos tomados de la base de INIA), se observó que partiendo de valores de 1500 macollos/m² a medida que aumentan los macollos, los pesos de los mismos disminuyen. Aunque los kg de MS/ha tienden a mantenerse hasta valores cercanos a 5300 macollos/m². Surge la incógnita para estudiar a futuro el rango en el cual se da este fenómeno de compensación tamaño/densidad.

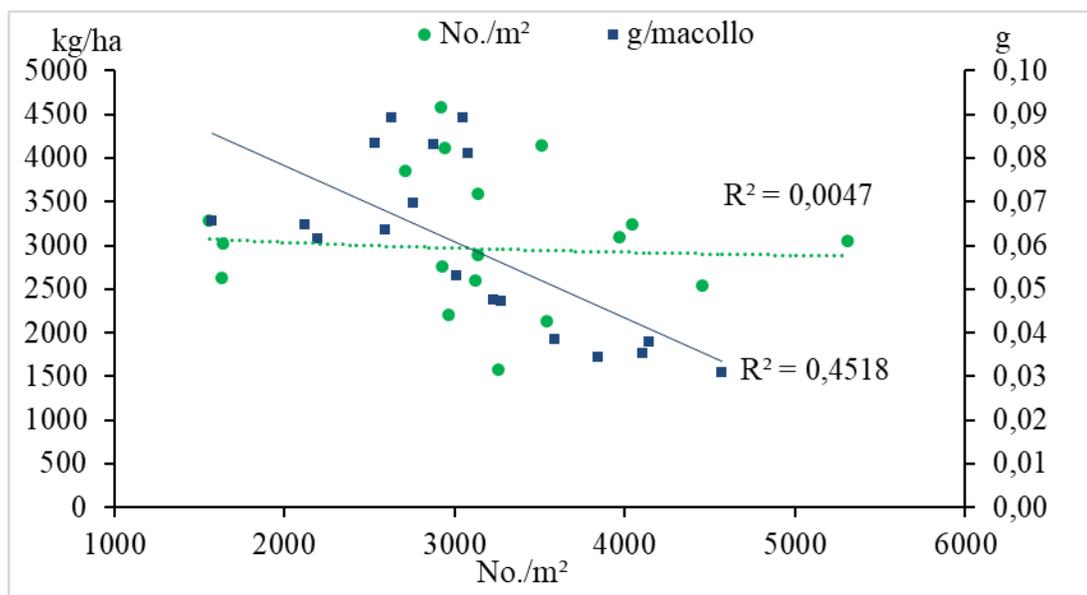


Figura No. 25. Regresión de la densidad de macollos (No. macollos/m²) vs. peso individual (PI g) y producción de forraje (MS kg/ha) datos tomados en otoño

Los resultados generados a partir de este trabajo hacen hincapié en un período específico como es el verano y sus consecuencias en la densidad de la pastura en el otoño siguiente, aportando elementos de manejo para esos momentos. No obstante, surgen una serie de interrogantes a partir de este análisis. Sería recomendable estudiar más en detalle la dinámica poblacional a lo largo de todo el año, en términos de la sobrevivencia y aparición de nuevos macollos para cultivares de diferente ciclo, determinando otros períodos claves de análisis. La evaluación se condujo sobre una pastura manejada con niveles altos de fertilización (en promedio 191 kg N/año, 22 kg de P₂O₅/año y 15 kg de K/año), lo que permitió observar pasturas densas con una alta plasticidad en todos los cultivares que les permitió recomponerse frente a situaciones de stress a lo largo de los años sin que ocurriera un deterioro productivo en las mismas. Surge la interrogante sobre cuál puede ser la respuesta esperable en pasturas manejadas más intensamente y con menores niveles de fertilización. Por último y en otro orden, si bien se observaron variaciones importantes entre años en la incidencia de la temperatura y del régimen de precipitaciones, su incidencia podría ser mayor en la zona Norte del país, por lo que pareciera oportuno continuar evaluando la inclusión de los hongos endófitos en nuevos cultivares para esos ambientes.

6. CONCLUSIONES

La mortalidad estival de macollos en distintos cultivares de *Festuca arundinacea* varió entre 17 y 58% según las condiciones climáticas y de manejo evaluadas.

La incidencia de temperaturas del aire superiores a 30°C en el verano, que reducen la sobrevivencia y la producción, fue en el torno del 5% del período incrementándose hasta un 18% si se consideran a nivel de césped.

La inclusión del hongo endófito AR584 en los cultivares de Aurora y Fortuna no presentó beneficios en cuanto a la sobrevivencia de macollos en el verano.

Mantener la pastura a 10 cm en Fortuna determinó un 17% más de sobrevivencia estival de macollos que manejada a 3 cm. En Aurora no existieron diferencias significativas en sobrevivencia para las dos alturas evaluadas.

A nivel general y haciendo la salvedad de las diferentes edades entre los cultivares, Fortuna presentó una sobrevivencia de un 11% superior a Aurora.

En cuanto a la dinámica poblacional no se encontraron diferencias entre cultivares dentro de cada año para la densidad y el peso de macollos, con variaciones entre años por cambios en el clima y el manejo.

Remanentes post pastoreo entre 6 - 7 cm de altura en verano provocaron descensos entre 800 y 1000 macollos/m² en el cultivar Fortuna, efecto que no se manifestó en el cultivar Aurora. Remanentes post pastoreo entre 14 y 17 cm en el verano, provocaron aumentos en torno a los 2000 macollos/m² en ambos cultivares.

Se observó una capacidad de compensación en todos los cultivares, en el cual aumentos en la densidad de macollos repercuten disminuyendo el peso de estos, otorgándole cierta plasticidad a las pasturas frente a distintos manejos y condiciones del clima.

En términos prácticos, se enfatiza en la importancia de manejar alturas de remanentes en torno a 10 cm combinado con descansos adecuados, a los efectos de reducir la mortandad de macollos y garantizar así una persistencia aceptable de la pradera.

7. RESUMEN

Festuca arundinacea es una gramínea perenne con creciente uso en Uruguay, con limitantes en cuanto a su nivel de persistencia en el verano, reportada a través de mortalidades entre 15 - 72% en una serie de trabajos. Se realizaron dos experimentos en la Estación Experimental Palo a Pique - INIA Treinta y Tres (33°16'11.53"S, 54°29'46.49"O). Un experimento permitió cuantificar la sobrevivencia estival de dos cultivares (Aurora y Fortuna), bajo dos regímenes de forraje remanente (cortes a 3 vs. 10 cm), inoculados o no con el hongo endófito AR584. Las temperaturas en verano por encima de 30 °C reducen el crecimiento y por sobre 35 °C provocan la muerte de los macollos, siendo su incidencia de un 18% a nivel de césped en el período considerado. La sobrevivencia fue evaluada entre el 14 de diciembre de 2016 y el 9 de mayo de 2017. En forma asociada se realizó otro experimento para cuantificar la evolución de la densidad de 5 pasturas de festuca (Kentucky 31 inoculado con endófito salvaje, Fortuna, Fortuna + AR584, Aurora, Aurora + AR584) manejadas bajo pastoreo durante 4 años para los tres primeros y 3 años para los 2 últimos cultivares. Se determinó el número de macollos/m², peso de macollos/m² y peso individual de macollos. Asimismo, se caracterizó el manejo estival de la pastura en términos de la carga animal y la altura del forraje remanente. En el experimento I la sobrevivencia estival de los cortes a 10 cm en Fortuna fue un 17% superior que los de 3 cm. En Aurora no se registraron diferencias significativas. La inclusión del endófito AR584 no mostró efectos significativos en sobrevivencia de macollos en ninguno de los cultivares. En el segundo experimento no se encontraron diferencias en la densidad y peso de macollos en los 5 cultivares dentro de cada año estudiado. Alturas de forraje remanente en verano entre 6-7 cm determinaron reducciones en densidad entre 800 - 1000 macollos/m² en Fortuna, respuesta que no se observó en el cultivar Aurora. Remanentes entre 14 - 17 cm en verano permitieron incrementar la densidad de macollos en torno a los 2000 macollos/m² en ambos cultivares. Para todos los cultivares se encontró una relación inversa entre el peso individual y el número de macollos. Se registraron variaciones en la densidad de la pastura a lo largo del tiempo por efecto del clima y del manejo realizado, mostrando un nivel de plasticidad de la especie promoviendo una persistencia productiva a través del tiempo bajo condiciones de manejo adecuadas.

Palabras clave: Festuca; Sobrevivencia estival; Persistencia; Compensación; Endófitos.

8. SUMMARY

Festuca arundinacea is a perennial grass with growing use in Uruguay, with limitations on summer persistence, reported tiller mortalities between 15-72% in a series of works. Two experiments were carried out in the Experimental station Palo a Pique-INIA Treinta y Tres (33°16'11.53' S, 54°29'46.49' O). One experiment allowed to quantify the summer survival of two cultivars (Aurora and Fortuna), under two residual forage regimens (cuts to 3 vs. 10 cm), inoculated or not with the fungus endophyte AR584. Temperatures in summer above 30°C reduce growth and over 35°C cause tillers death, with an incidence of 18% at soil surface level in the period considered. Survival was assessed between December 14th, 2016 and May 9th, 2017. Other experiment was carried out to quantify the evolution of the density of 5 pastures of festuca (Kentucky 31 inoculated with wild endophyte, Fortuna, Fortuna + AR584, Aurora, Aurora + AR584) managed under grazing for 4 years for the first three and 3 years for the last 2 cultivars. The number of tillers/m², weight of tillers/m² and individual weight of tillers was determined. In addition, the summer management of the pasture was characterized in terms of the stocking rate and pasture residual height. In experiment 1, summer survival of 10 cm cuts in Fortuna was 17% higher than those at 3 cm. No significant differences were recorded in Aurora. The inclusion of endophyte AR584 showed no significant effects on tillers survival in any of the cultivars. In the second experiment no differences were found in the density and weight of tillers in the 5 cultivars within each year studied. When sward height of post grazing biomass in summer was between 6-7 cm sward density was reduced between 800-1000 tillers/m² in Fortuna, without effects in Aurora. When sward height of post grazing achieved 14-17 cm tiller density increased in 2000 tillers/m² in both cultivars. For all cultivars an inverse relationship was found between the individual weight and the number of tillers. There were variations in the sward density over time due to climate and the management effects carried out, showing a level of plasticity of the species to increase productive persistence over time under rationale management conditions.

Key words: Tall fescue; Summer survival; Persistence; Compensation; Endophyte.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Assuero, S. G.; Tognetti, J. A. 2010. Tillering regulation by endogenous and environmental factors and its agricultural management. *American Journal of Plant Science and Biotechnology*. 4:35-48.
2. Ayala, W.; Bemhaja, M.; Cotro, B.; do Canto, J.; García, J.; Olmos, F.; Real, D.; Rebuffo, M.; Reyno, R.; Rossi, C.; Silva, J. 2010. Forrajeras: catálogo de cultivares. Montevideo, INIA. 131 p.
3. Bacon, C.; Siegel, M. 1988. Endophyte parasitism of tall fescue. *Journal of Production Agriculture*. 1:45-55.
4. Becerra, O. 2017. Producción de forraje y sobrevivencia de macollos de festuca con o sin la inclusión del hongo endófito AR584. Tesis Técnico profesional. Flores, Uruguay. Universidad del Trabajo. Escuela Agraria Superior “La Carolina”. 32 p.
5. Belesky, D. P.; Stringer, W. C.; Hill, N. S. 1989. Influence of endophyte and water regime upon tall fescue accessions. *Annals of Botany*. 63:495-503.
6. Blum, A.; Ebercon, A. 1981. Cell Membrane Stability as a Measure of Drought and Heat Tolerance in Wheat. *Crop Science*. 21:43-47.
7. Borrajo, C. I. 2015. Implantación de cultivares de festuca en la Cuenca del Salado. (en línea). Buenos Aires, INTA. 7 p. Consultado 05 dic. 2017. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_cultivares_de_festuca_en_la_cuenca_del_salado.pdf.
8. Bouton, J. H.; Gates, R. N.; Belesky, D. P.; Owsley, M. 1993. Yield and persistence of tall fescue in the southeastern coastal-plain after removal of its endophyte. *Agronomy Journal*. 85:52-55.
9. _____; Hill, N. S.; Hoveland, C. S.; McCann, M. A.; Thompson, F. N.; Hawkins, L.L.; Latch, G.C.M. 2000. Performance of tall fescue cultivars infected with non-toxic endophytes. In: *International Neotyphodium: Grass Interaction Symposium (4th, 2000, Soest, Germany)*. Proceedings. Palmerston North, AgResearch Grasslands. pp. 179-185.
10. _____; Latch, G. C. M.; Hill, N. S.; Hoveland, C. S.; McCann, M. A.; Watson, R. H.; Parish, J. A.; Hawkins, L. L.; Thompson, F. N. 2002. Reinfection of tall fescue cultivars with non-ergot alkaloid producing endophytes. *Agronomy Journal*. 94: 567-574.

11. _____; Easton, S. 2005. Endophytes in forage cultivars. In: Robert, C. A.; West, C. P.; Spieres, D. E. eds. Neotyphodium in cool-season grasses. Oxford, Blackwell. pp. 325-340.
12. _____. 2007. The economic benefits of forage improvement in the United States. *Euphytica*. 154:263-270.
13. Brock, J. L. 1973. Effect of sowing depth and post-sowing compaction on the establishment of tall fescue varieties. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*. 1(1):11-14.
14. Brosi, G. B. 2011. The response of tall fescue and its fungal endophyte to climate change. (en línea). Master's Theses. Kentucky, United States of America. University of Kentucky. 85 p. Consultado 11 ago. 2018. Disponible en https://uknowledge.uky.edu/gradschool_theses/126/
15. Burns, J.; Fisher, D.; Rottinghaus, G. 2006. Grazing influences on mass, nutritive value and persistence of stockpiled Jesup tall fescue without and with novel and wild type fungal endophytes. *Crop Science*. 46:1898-1912.
16. Bush, L. P.; Wilkinson, H.; Schardl, C. L. 1997. Bioprotective alkaloids of grass-fungal endophyte symbioses. *Plant Physiology*. 114:1-7.
17. _____.; Fannin, F. F. 2009. Alkaloids. In: Fribourg, H. A.; Hannaway, D. B.; West, C. P. eds. Tall fescue for the twenty-first century. Madison, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America. pp. 229-250 (Agronomy monograph no.53).
18. Callow, M. N.; Lowe, K. F.; Bowdler, T. M.; Lowe, S. A.; Gobius, N. R. 2003. Dry matter yield, forage quality and persistence of tall fescue (*Festuca arundinacea*) cultivars compared with perennial ryegrass (*Lolium perenne*) in a subtropical environment. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 43:1093-1099.
19. Carámbula, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Hemisferio Sur. 464 p.
20. Castro, M.; Pereyra, S.; Vera, M.; González, N.; Cardozo, V. 2015. *Festuca arundinacea* Schreb). In: Castro, M.; Cuitiño, M. J. eds. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras. La Estanzuela, INIA. pp. 39-47.

21. Chapman, D. F.; Edwards, G. R.; Nie, Z. N. 2011. Plant responses to climate and relationships with pasture persistence. *Grassland Research and Practice Series*. 15:99-108.
22. _____.; Hill, J.; Tharmaraj, J.; Beca, D.; Kenny, S. N.; Jacobs, J. L. 2014. Increasing home-grown forage consumption and profit in non-irrigated dairy systems. *Rationale, systems design and management. Animal Production Science*. 54:221-233.
23. Charles, G.; Blair, G.; Andrews, A. 1992. The effects of sowing time, sowing technique and grazing on tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb) establishment. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 32(5):627-632.
24. Cheplick, G. P.; Clay, K.; Marks, S. 1989. Interactions between infection by endophytic fungi and nutrient limitation in the grasses *Lolium perenne* and *Festuca arundinacea*. *New Phytologist*. 111:89-97.
25. _____.; Perera, A.; Koulouris, K. 2000. Effect of drought on the growth of *Lolium perenne* genotypes with and without fungal endophytes. *Functional Ecology*. 14:657-667.
26. Clay, K.; Schardl, C. 2002. Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. *The American Naturalist*. 160:S99-S127.
27. Colabelli, M.; Agnusdei, M.; Mazzanti, A.; Labreveux, M. 1998. El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. INTA. Boletín Técnico no. 148. 12 p.
28. Davies, A. 1988. The regrowth of grass swards. In: Jones, M. B.; Lazenby, A. eds. *The grass crop: the physiological basis of production*. London, Chapman and Hall. pp. 85-127.
29. Du, H.; Wang, Z.; Huang, B. 2008. Differential responses of tall fescue and zoysiagrass to heat and drought stress. *Acta Horticulturae*. no. 783:207-213.
30. Durán, A.; Califra, A.; Molino, J. H.; Lynn, W. 2005. *Keys to Soil Taxonomy for Uruguay*. Washington D.C, Natural Resources Conservation Service. 77 p.

31. Easton, H. S.; Lee, C. K.; Fitzgerald, R. D. 1994. Tall fescue in Australia and New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 37(3):405-417.
32. Faber, A. 2012. Estructura espacial y selectividad de parches en pasturas de festuca alta pastoreada a diferente altura remanente. Tesis MSc. Ingeniero Agrónomo. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 96 p.
33. Faeth, S. H.; Bush, L. P.; Sullivan, T. 2002. Peramine alkaloid variation in *Neotyphodium* infected Arizona fescue: effects of endophyte and host genotype and environment. *Journal of Chemical Ecology*. 28:1511-1526.
34. _____; Gardner, D. R.; Hayes, C. J.; Jani, A.; Wittlinger, S. K.; Jones, T. A. 2006. Temporal and spatial variation in alkaloid levels in *Achnatherum robustum*, a native grass infected with the endophyte *neotyphodium*. *Journal of Chemical Ecology*. 32:307-324.
35. Formoso, F. 2010. *Festuca arundinacea*, manejo para producción de forraje y semillas. Montevideo, INIA. 192 p. (Serie Técnica no. 182).
36. García, J.; Formoso, F.; Risso, D.; Arrospide, C.; Ott, P. 1981. Productividad y estabilidad de praderas: factores que afectan la productividad y estabilidad de praderas. CIAAB. Miscelánea no. 29. 2 p.
37. Garwood, E. A.; Sinclair, J. 1979. Use of water by six grass species. 2. Root distribution and use of soil water. *Journal of Agricultural Science*. 93:25-35.
38. Gastal, F.; Matthew, C. 2005. Long-term tiller population dynamics in sward grasses with contrasting persistence strategy. In: International Grasslands Congress (20th., 2005, Dublin). Proceedings. Palmerston North, Massey University. pp. 203-205.
39. Gutiérrez, F.; Calistro, E. 2013. *Festuca arundinacea* INIA Aurora e INIA Fortuna: nuevos cultivares para aumentar la estabilidad de las pasturas perennes. *Revista El Tambo*. 193:70-74.
40. Gwinn, K. D.; Collins-Shepard, M. H.; Reddick, B. B. 1991. Tissue print-immunoblot, an accurate method for the detection of *Acremonium coenophialum* in tall fescue. *Phytopathology*. 81(7):747-748.

41. Hannaway, D. B.; Daly, C.; Halbleib, M. D.; James, D.; West, C. P.; Volenec, J. J.; Chapman, D.; Li, X.; Cao, W.; Shen, J. 2009. Development of suitability maps with examples for the United States and China. In: Fribourg, H. A.; Hannaway, D. B.; West, C. P. eds. Tall fescue for the twenty-first century. Madison, WI, Crop Science Society of America/Soil Science Society of America. pp. 33-47 (Agronomy monograph no.53).
42. Hare, M. D. 1992. Seed production in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) Ph.D. thesis. Palmerston North, New Zealand, Massey University. 186 p.
43. Harris, S.; Thom, E.; Clark, D. 1996. Effect of high rates of nitrogen fertilizer on perennial ryegrass growth and morphology in grazed dairy pasture in northern New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 39(1):159-169.
44. Harris, C. A.; Clark, S. G.; Reed, K. F. M.; Nie, Z. N.; Smith, K. F. 2008. Novel *Festuca arundinacea* Shreb and *Dactylis glomerata* L. germplasm to improve adaptation for marginal environments. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 48:346-448.
45. Hill, M. J.; Pearson, C. J.; Kirby, A. C. 1985. Germination and seedling growth of prairie grass, tall fescue and Italian ryegrass at different temperatures. *Australian Journal of Agricultural Research*. 36(1):13-24.
46. Hill, N. S.; Pachon, J. G.; Bacon, C. W. 1996. *Acremonium coenophialum* mediated short and long term drought acclimation in tall fescue. *Crop Science*. 36:665-772.
47. Hopkins, A. A.; Saha, M. C.; Wang, Z. Y. 2009. Breeding, Genetics, and Cultivars. In: Fribourg, H. A.; Hannaway, D. B.; West, C. P. eds. Tall fescue for the twenty-first century. Madison, WI, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America. pp. 339-366 (Agronomy monograph no.53).
48. _____; Young, C. A.; Panaccione, D. G.; Simpson, W. R.; Mittal, S.; 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.
49. _____; _____; Butler, T. J.; Bouton, J. H. 2011. Registration of "Texoma" Maxq II tall fescue. *Journal of Plant Registrations*. 5:14-18.

50. Hoveland, C. S. 2009. Origin and History; Origin of Tall Fescue. In: Fribourg, H. A.; Hannaway, D. B.; West, C. P. eds. Tall fescue for the twenty-first century. Madison, WI, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America. pp. 3-4 (Agronomy monograph no.53).
51. Huang, B. 2004. Recent advances in drought and heat stress physiology of turfgrass - A review. *Acta Horticulturae*. no. 661:185-192.
52. INASE; INIA (Instituto Nacional de Semillas, UY; Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2015. Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de especies forrajeras. Montevideo. 102 p.
53. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agro-clima y Sistemas de Información, UY). 2015. Banco datos agroclimáticos. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado mar. 2018. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
54. Jáuregui, J. M.; Michelini, D. F.; Agnusdei, M. G.; Baudracco, J.; Sevilla G. H.; Chilbroste, P.; Lattanzi, F. A. 2016. Persistence of tall fescue in a subtropical environment: tiller survival over summer in response to flowering control and nitrogen supply. *Grass and Forage Science* 72(3):454-466.
55. Lafarge, M. 2006. Reproductive tillers in cut tall fescue swards: differences according to sward age and fertilizer nitrogen application, and relationships with the local dynamics of the sward. *Grass and Forage Science*. 61(2):182-191.
56. Lane, G. A.; Tapper, B. A.; Davies, E.; Christensen, M. J.; Latch, G. C. M. 1997. Occurrence of extreme alkaloid levels in endophyte infected perennial ryegrass, tall fescue, and meadow fescue. In: Bacon, C. W.; Hill, N. S eds. Neotyphodium/grass interactions. Plenum Press, New York. pp. 433-436.
57. Larratea, F.; Herken, G.; Olano, I.; Ruete, R.; Ayala, W.; Lattanzi, F. 2018. Efecto de hongos endófitos benéficos en la supervivencia estival de *Festuca arundinacea*. In: Congreso Aupa - Asociación Uruguaya de Producción Animal (6º., 2018, Tacuarembó). Conservación con productividad: el desafío para la ganadería sobre pasturas. Montevideo, INIA. pp. 51-88.

58. Latch, G. C. M.; Christensen, M. J. 1982. Ryegrass endophyte, incidence, and control. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 25(3): 443-448.
59. _____.; _____.; Tapper, B. A.; Easton, H. S.; Hume, D. E.; Fletcher, L. R. 2000. Tall fescue endophytes. (en línea). Hamilton, Google Patents. 10 p. Consultado 10 jul. 2018. Disponible en <https://patents.google.com/patent/US6111170#patentCitations>
60. Lattanzi, F. A.; Mazzanti, A.; Wade, M. H. 2007. Seasonal animal production of temperate and mediterranean tall fescue cultivars under continuous variable stocking with close control of sward state. *Australian Journal of Agricultural Research*. 58:203-213.
61. Lowe, K.; Bowdler, T.; Casey, N.; Moss, R. 1999. Performance of temperate perennial pastures in the Australian subtropics 1. Yield, persistence and pasture quality. *Animal Production Science*. 39:663-676
62. McCallum, M.; Kirkegaard, J.; Green, T.; Cresswell, H.; Davies, S.; Angus, J.; Peoples, M. 2004. Improved subsoil macroporosity following perennial pastures. *Animal Production Science*. 44:299-307.
63. Malinowski, D. P.; Belesky, D. P. 2000. Adaptations of endophyte-infected cool-season grasses to environmental stresses: mechanisms of drought and mineral stress tolerance. *Crop Science*. 40:923-940.
64. Matthew, C.; Black, C.; Butler, B. 1993. Tiller dynamics of perennation in three herbage grasses. In: International Grassland Congress (17th., Wellington, New Zealand). Proceedings. Palmerston North, Massey University. pp. 141-143.
65. _____.; Lemaire, G.; Sackville Hamilton, N. R.; Hernández Garay, A. 1995. A modified self-thinning equation to describe size/density relationships for defoliated swards. *Annals of Botany*. 76:579-587.
66. _____.; Assuero, S. G.; Black, C. K.; Sackville Hamilton, N. R. 2000. Tiller dynamics in grazed swards. In: Lemaire, G.; Hodgson, J.; de Moraes, A.; Nabinder, C.; Carvalho, P.C de F. eds. *Grassland Ecophysiology and grazing ecology*. Curitiba, Universidade Federal do Parana. pp. 127-150.
67. _____. 2002. Translocation from flowering to daughter tillers in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Crop and Pasture Science*. 53:21-28.

68. _____.; Agnusdei, M. G.; Assuero, S. G.; Sbrissia, A. F.; Scheneiter, O.; Da Silva, C. 2013. State of knowledge in tiller dynamics. In: Michalk D. L.; Millar G. D.; Badgery W. B.; Broadfoot K. M. eds. Revitalising grasslands to sustain our communities. Sydney, New South Wales Department of Primary Industries. pp. 1041-1044.
69. Michelini, D. 2016. Persistencia de festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.): dinámica poblacional estival en pasturas con diferente desarrollo reproductivo. Tesis MSc. Ingeniero Agrónomo. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 94 p.
70. Milne, G. 2009. Management in New Zealand, Australia, and South America. In: Fribourg, H. A.; Hannaway, D. B.; West, C. P. eds. Tall fescue for the twenty-first century. Madison, WI, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America. pp. 101-117 (Agronomy monograph no.53).
71. Olson, B. E.; Richards, J. H. 1989. Crested wheatgrass growth and replacement following fertilization, thinning, and neighbor plant removal. *Journal of Range Management*. 42(2):93-97.
72. Parsons, A.; Edwards, G.; Newton, P.; Chapman D.; Caradus, J.; Rasmussen, S.; Rowarth, J. 2011. Past lessons and future prospects: plant breeding for yield and persistence in cool-temperate pastures. *Grass and Forage Science*. 66(2):153-172.
73. Pedersen, J.; Sleper, D. 1993. Genetic manipulation of tall fescue. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 44:187-193.
74. Popay, A. J.; Jensen, J. G.; Cooper, B. M. 2005. The effect of non-toxic endophytes in tall fescue on two major insect pests. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*. 67:169-173.
75. Raeside, M. C.; Friend, M. A.; Behrendt, R.; Lawson, A. R; Clark, S. G. 2012a. A review of summer-active tall fescue use and management in Australia's high-rainfall zone. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 55(4): 393-411.
76. _____.; _____.; _____.; _____.; _____. 2012b. Tall fescue establishment and management in south west Victoria. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 55(1):31-46.

77. Rolston, M. P.; Hare, M. D.; Moore, K. K.; Christensen, M. J. 1986. Viability of *Lolium* endophyte fungus in seed stored at different seed moisture contents and temperatures. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*. 14:297-300.
78. Sackville Hamilton, N. R.; Matthew, C.; Lemaire, G. 1995. In defense of the $-3/2$ boundary rule: a re-evaluation of the self-thinning concepts and status. *Annals of Botany*. 76:569-577.
79. Schardl, C. L. 1994. Molecular and genetic methodologies and transformation of grass endophytes. *In*: Bacon, C. W.; White, J. F. eds. *Biotechnology of endophytic fungi of grasses*. Boca Raton, FL, CRC. pp. 151-166.
80. _____.; Clay, K. 1997. Evolution of mutualistic endophytes from plant pathogens. *In*: Carroll, G. C.; Tudzynski, P. eds. *The Mycota V: Plant Relationships*. Berlín, Springer. pp. 221-238.
81. _____.; Leuchtman, A.; Chung, K. R.; Penny, D.; Siegel, M. R. 1997. Coevolution by common descent of fungal symbionts (*Epichloe* spp.) and grass hosts. *Molecular Biology Evolution*. 14:133-143.
82. Scheneiter, J. 2005. Manejo de pasturas de festuca alta. *In*: *Jornada a Campo Avances en Producción y Manejo de Pasturas (2005, Pergamino, Argentina)*. Memorias. Buenos Aires, INTA. pp. 1-3.
83. _____.; Assuero, S. 2010. Tiller population density and productivity in tall fescue and prairie grass swards. *Ciencia e Investigación Agraria*. 37(2):35-44.
84. _____.; Améndola, C. 2012. Tiller demography in tall fescue (*Festuca arundinacea*) swards as influenced by nitrogen fertilization, sowing method and grazing management. *Grass and Forage Science*. 67(3):426-436.
85. Sheath, G.; Boom, R. 1985. Effects of November-April grazing pressure on hill country pastures 1. Pasture structure and net accumulation rates. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*. 13(4):317-327.
86. Siegel, M. R.; Johnson, M. C.; Varney, D. R.; Nesmith, W. C.; Buckner, R. C.; Bush, L. P.; Burrus, P. B.; Jones, T. A.; Boling, J. A. 1984. A fungal endophyte in tall fescue: incidence and dissemination. *Phytopathology*. 74:932-937.

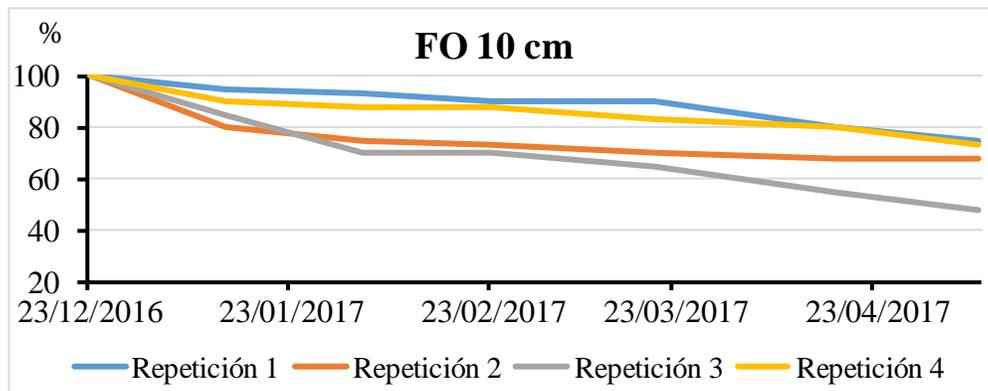
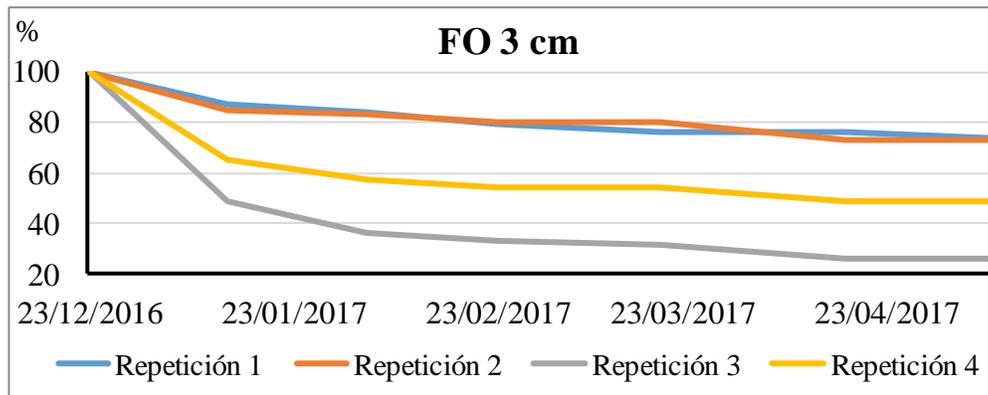
87. Spyreas, G.; Gibson, D. J.; Basinger, M. 2001. Endophyte infection levels of native and naturalized fescues in Illinois and England. *Journal of the Torrey Botanical Society*. 25-34.
88. Thornton, B.; Millard, P. 1996. Effects of severity of defoliation on root functioning in grasses. *Journal of Range Management*. 49(5):443-447.
89. Thompson, J. N. 2005. *The geographic mosaic of coevolution*. Cotswold, University of Chicago. 443 p.
90. van der Heijden, M. G. A. 2004. Arbuscular mycorrhizal fungi as support systems for seedling establishment in grassland. *Ecology Letters*. 7(4):293-303.
91. Welty, R. E.; Azevedo, M. D.; Cooper, T. M. 1987. Influence of moisture content, temperature and length of storage on seed germination and survival of endophytic fungi in seeds of tall fescue and perennial ryegrass. *Phytopathology*. 77:893-900.
92. West, C. P. 2007. Plant influences on endophyte expression. In: *International Symposium on Fungal Endophytes of Grasses (6th, 2007, Christchurch, New Zealand)*. Fungal Endophytes: the influential symbiosis. Dunedin, New Zealand Grassland Association. pp. 117-121.
93. Wheatley, W. M.; Hume, D. E.; Kemp, H. W.; Monk, M. S.; Lowe, K. F.; Popay, A. J.; Baird, D. B.; Tapper, B. A. 2003. Effects of fungal endophyte on the persistence and productivity of tall fescue at three sites in eastern Australia. (en línea). In: *Australian Agronomy Conference (11th, 2003, Geelong, Victoria)*. Solutions for a better environment: proceedings. New South Wales, Australian Society of Agronomy. pp. 436-448. Consultado 12 ago. 2018. Disponible en <http://www.regional.org.au/au/asa/2003/p/12/wheatley.htm>

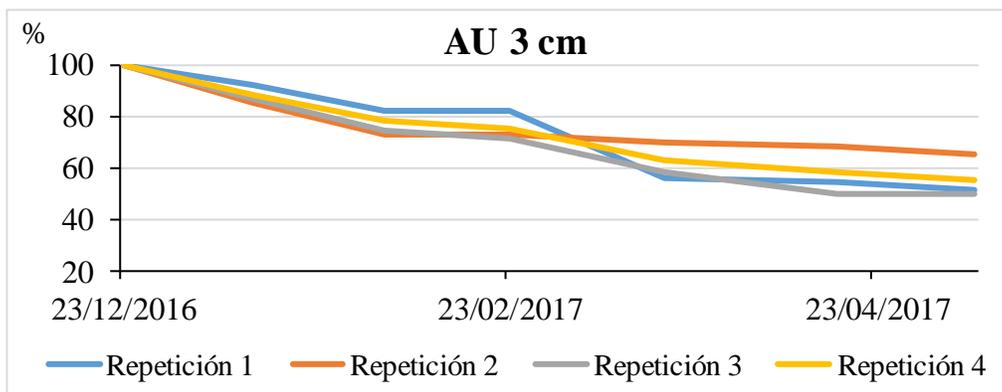
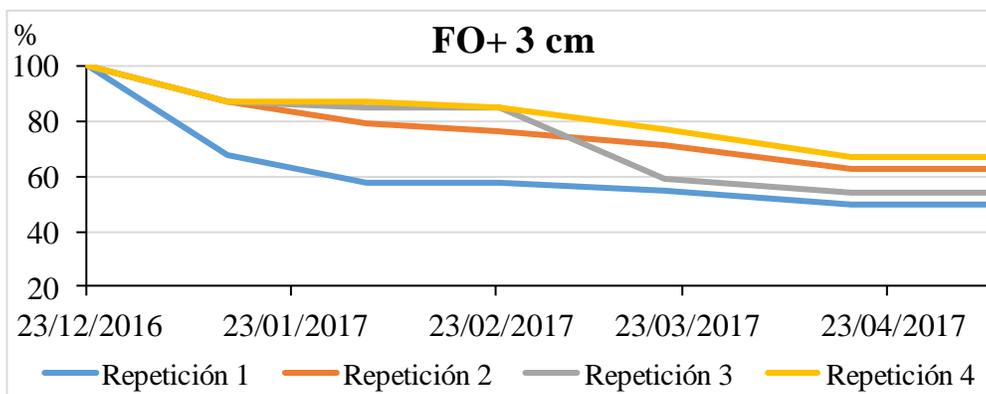
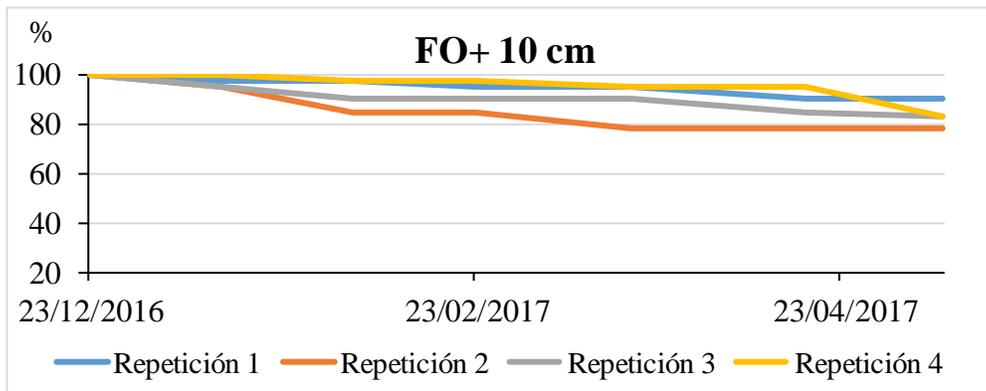
10. ANEXOS

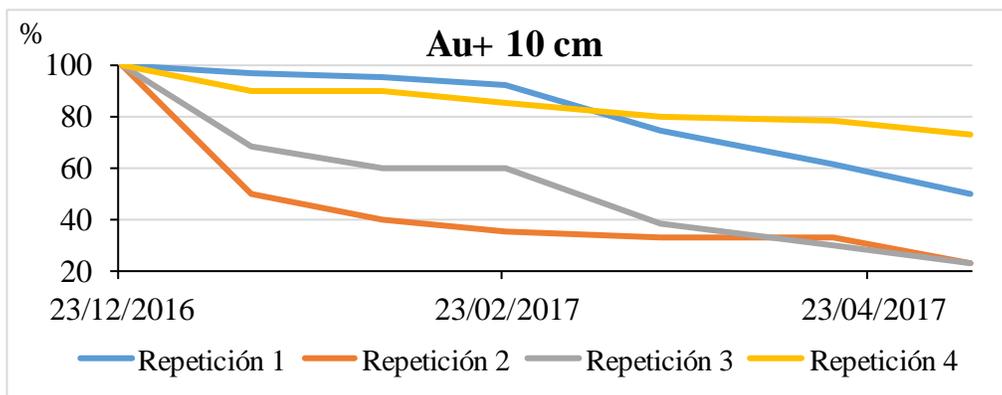
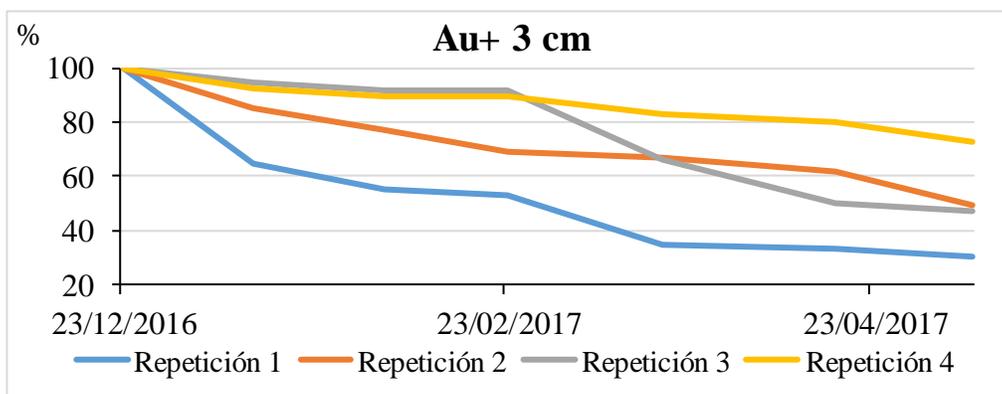
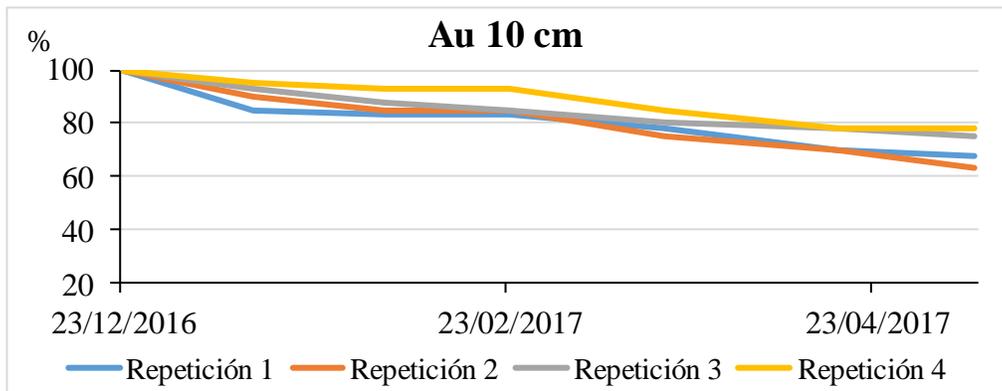
Anexo No. 1. Área experimental



Anexo No. 2. Repetición por tratamiento de la sobrevivencia de macollos.







Anexo No. 3. Análisis de varianza de las sobrevivencias promedios de fortuna y aurora con modelo de medidas repetidas en el tiempo.

Fortuna		Aurora	
	p- valor		p- valor
Periodos	< 0,0001	Periodos	< 0,0001
P x Hongo	0,7515	P x Hongo	0,6664
P x Altura	0,1468	P x Altura	0,9666
Periodo	% Sob.	Periodo	% Sob.
P1	100a	P1	100a
P2	85b	P2	85b
P3	79b	P3	78b
P4	77bc	P4	76b
P5	73cd	P5	66c
P6	68d	P6	60cd
P7	66d	P7	55d
MDS	7,9	MDS	8,9

Anexo No. 4. Análisis de varianza de número de macollos (M, No./m²), peso seco por m² (PS, g/m²) y peso individual de macollos (PI, g) para fortuna con y sin endófito y kentucky 31 por año.

	2014			2015		
	M No./m²	PS g/m²	PI g	M No./m²	PS g/m²	PI g
FO	3045	272	0,09	3014	159	0,06
FO+	3082	250	0,09	3271	151	0,05
K31	2534	211	0,08	2627	172	0,07
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Media	2887	244	0,09	2971	161	0,06
CV	14,02	28,5	25	24	21,5	16
MDS	647,61	111	0,03	1160	55,41	0,01577

Anexo No. 5. Análisis de varianza de número de macollos (M, No./m²), peso seco por m² (PS, g/m²) y peso individual de macollos (PI, g) para Fortuna con y sin endófito y Kentucky 31 por año.

	2016			2017		
	M No./m ²	PS g/m ²	PI g	M No./m ²	PS g/m ²	PI g
FO	2135	135	0,07	4143	156	0,04
FO+	2196	135	0,06	4107	145	0,04
K31	1552	138	0,1	3844	132	0,04
Significancia	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Media	1961	136	0,08	4031	144	0,04
CV	22,89	45	36,72	21	21	20
MDS	718	98	0,043	1343	49	0,013

Anexo No. 6. Análisis de varianza de número de macollos (M, No./m²), peso seco por m² (PS, g/m²) y peso individual de macollos (PI, g) para Fortuna con y sin endófito y Kentucky 31 entre años.

AÑO	FO			FO+			K31		
	M No./m ²	PS g/m ²	PI g	M No./m ²	PS g/m ²	PI g	M No./m ²	PS g/m ²	PI g
2014	3045b	272a	0,09a	3082bc	250a	0,09a	2534b	211	0,08a
2015	3014b	159b	0,06bc	3271ab	151b	0,05b	2627b	173	0,07ab
2016	2135c	135b	0,07b	2996c	135b	0,06ab	1552b	138	0,10a
2017	4143a	156b	0,04c	4107a	145b	0,04b	3844a	132	0,04b
Signif.	0,0018	0,005	0,0033	0,0109	0,0407	0,0172	0,005	ns	0,027
DMS	828	70,84	0,02374	1003	85,04	0,02659	1076	82,98	0,03

Anexo No. 7. Análisis de varianza de número de macollos (M, No./m²), peso seco por m² (PS, g/m²) y peso individual de macollos (PI, g) para aurora con y sin endófito por año.

	2015			2016			2017		
	M No./m ²	PS g/m ²	PI g	M No./m ²	PS g/m ²	PI g	M No./m ²	PS g/m ²	PI g
AU	2272	137	0,06	2877	239	0,09	3586	138	0,04
AU+	2610	167	0,07	2753	192	0,07	4397	140	0,03
Signif.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,015	ns	ns
Media	2.441	152	0,065	2.815	215,5	0,08	3.992	139	0,035
CV	16,95	17,37	8,47	13,94	41	48	8,56	23,45	18,68
MDS	716	45,69	0,0093	679	152,84	0,068	591	56,35	0,0117

Anexo No. 8. Análisis de varianza de número de macollos (M, No./m²), peso seco por m² (PS, g/m²) y peso individual de macollos (PI, g) para aurora con y sin endófito entre años.

AÑO	AU			AU+		
	M No./m ²	PS g/m ²	PI g	M No./m ²	PS g/m ²	PI g
2015	2272b	137b	0,06b	2610b	167	0,07
2016	2877ab	239a	0,09a	2753b	192	0,07
2017	3585a	138b	0,04b	4397a	140	0,03
Significancia	0,009	0,0458	0,0304	<0,0001	ns	0,1012
DMS	730	88,99	0,03486	470	91	0,03936

Anexo No. 9. Modelos y R² de las regresiones de densidad y peso de macollos por año

	K31	FO	FO+
2014	$y = -7E-09x^2 + 4E-05x + 0,025, R^2 = 0,0279$	$y = 6E-09x^2 - 4E-05x + 0,1588, R^2 = 0,0784$	$y = 3,968x^{-0,491}, R^2 = 0,1257$
2015	$y = 8E-09x^2 - 6E-05x + 0,1659, R^2 = 0,4341$	$y = 0,1077e^{-2E-04x}, R^2 = 0,2852$	$y = 0,0791e^{-2E-04x}, R^2 = 0,3295$
2016	$y = 0,8059x^{-0,311}, R^2 = 0,0832$	$y = 0,124e^{-3E-04x}, R^2 = 0,2978$	$y = 1E-09x^2 - 2E-05x + 0,0932, R^2 = 0,0872$
2017	$y = -0,019\ln(x) + 0,1961, R^2 = 0,3709$	$y = -0,016\ln(x) + 0,176, R^2 = 0,2537$	$y = 0,0564e^{-1E-04x}, R^2 = 0,217$

Anexo No. 10. Modelos y R² de las regresiones de densidad y peso de macollos por año

	AU	AU+
2015	$y = 2E-09x^2 - 1E-05x + 0,0792$ R ² = 0,0246	$y = 0,0793e^{-9E-05x}$ R ² = 0,0792
2016	$y = 3E-09x^2 - 4E-05x + 0,1742$ R ² = 0,2514	$y = -0,038\ln(x) + 0,373$ R ² = 0,1204
2017	$y = 1E-09x^2 - 1E-05x + 0,0604$ R ² = 0,1116	$y = -4E-10x^2 + 3E-06x + 0,0268$ R ² = 0,0626

Anexo No. 11. Modelos y R² de las regresiones de densidad y peso de macollos por cultivar en el total de los años

FO	FO+	AU	AU+	K31
$y = 0,0905e^{-2E-04x}$ R ² = 0,1751	$y = 0,0909e^{-2E-04x}$ R ² = 0,2431	$y = 0,083e^{-1E-04x}$ R ² = 0,1234	$y = 0,0869e^{-2E-04x}$ R ² = 0,2479	$y = 0,1156e^{-2E-04x}$ R ² = 0,3509

Anexo No. 12. Análisis de varianza de las alturas remanentes (cm) en verano por año para cada cultivar

	FO	FO+	K31	AU	AU+
	R (cm)				
13/14	14,0 a	12,8 a	13,0 b		
14/15	9,5 b	7,8 b	10,8 bc	10,3 b	12,3 a
15/16	6,5 c	7,0 b	8,0 c	6,0 c	6,5 b
16/17	16,0 a	15,0 a	17,5 a	17,0 a	15,5 a
Significancia	<0,0001	0,0	0,0	0,0007	0,0021
DMS	2,4	2,5	3,2	4,15	4