

**Efecto de la condición hídrica edáfica sobre el rebrote  
primaveral en ecotipos de festuca alta**

Trabajo Final de Grado del alumno



**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.  
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.**

Pergamino,.....

**Efecto de la condición hídrica edáfica sobre el rebrote  
primaveral en ecotipos de festuca alta**

Trabajo Final de Grado del alumno

**BRUNO NICOLAS RASTELLI**

Aprobada por el Tribunal Evaluador

(Nombre y Apellido)  
**Evaluador**

(Nombre y Apellido)  
**Evaluador**

(Nombre y Apellido)  
**Evaluador**

Ing. Agr. Ezequiel  
Martín Pacente  
**Director**

Ing. Agr. Jorge Omar  
Scheneiter  
**Co-Director**

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,  
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires**

Pergamino,.....

## **Dedicatoria**

A toda mi familia, quienes me dieron el apoyo y la motivación para realizar mis estudios. Es un logro compartido y se lo debo a todos mis seres queridos.

## **Agradecimientos**

A mi familia, que me apoyo en todo momento para que pueda alcanzar este objetivo.

A Ezequiel Pacente, quien cumplió su rol de Director y me ayudo a realizar este trabajo.

A J.Omar Scheneiter, quien se desempeño como Co-director y junto a Ezequiel me guiaron para realizar este trabajo.

A la UNNOBA, por ser el medio educativo que me permitió formarme en el entorno profesional.

Al INTA, por brindarme los recursos necesarios para realizar este trabajo.

Al proyecto específico del INTA “Desarrollo de cultivares superiores de especies forrajeras para sistemas ganaderos y agrícola-ganaderos de la Argentina-PE 1126072-” que financió la reparación de los invernáculos móviles.

# Índice general

Dedicatoria .....	iii
Agradecimientos .....	iv
Índice de tablas .....	vi
Índice de figuras.....	vi
Resumen .....	vii
1. Introducción .....	1
1.1.Hipótesis .....	4
1.2.Objetivo general .....	5
1.3.Objetivos específicos.....	5
2. Materiales y Métodos.....	6
2.1.Condiciones climáticas durante el periodo experimental: .....	10
3. Resultados.....	11
3.1.Acumulación de forraje.....	11
3.2.Eficiencia en el uso de la radiación.....	12
3.3.Valor nutritivo del forraje .....	13
3.4. Consumo hídrico .....	14
3.5.Eficiencia en el uso del agua.....	15
3.6 Contenido relativo de agua en hoja (CRA) .....	16
4. Discusión .....	17
5. Conclusión:.....	24
6. Bibliografía.....	25

## Índice de tablas

Tabla 1: Precipitaciones (mm) y temperaturas medias (°C) ocurridas en octubre y noviembre del 2015 y medias mensuales históricas. ....	10
Tabla 2: Eficiencia en el uso de la radiación. ....	13
Tabla 3: Contenido relativo de agua en hoja en dos cultivares de festuca alta y en dos condiciones hídricas edáficas. ....	17

## Índice de figuras

Figura 1: Acumulación de materia seca, promedio de 2 condiciones hídricas, de los 6 ecotipos evaluados. ....	12
Figura 2: Acumulación de materia seca, promedio de los 6 ecotipos, bajo dos condiciones hídricas. ....	12
Figura 3: Variables de valor nutritivo de los cultivares de festuca, Quantum vs Flecha, en promedio de las dos condiciones hídricas evaluadas. ....	14
Figura 4: Consumo de agua bajo las condiciones hídricas de capacidad de campo y sequía, promedio de los cultivares de Quantum y Flecha, ....	15
Figura 5: Eficiencia en el uso del agua para las condiciones hídricas de capacidad de campo y sequía, promedio de los cultivares de Quantum y Flecha. ....	16

## Resumen

### Efecto de la condición hídrica edáfica sobre el rebrote primaveral en ecotipos de festuca alta

La festuca alta (*Schedonorus arundinacea* (Schreb.) Dumort) es una gramínea perenne templada que posee la capacidad de adaptarse a diversas condiciones edafoclimáticas y permite satisfacer gran parte de las necesidades de los actuales sistemas de producción ganaderos de Argentina. En el mercado existe una gran variedad de cultivares que se agrupan en ecotipos y poseen diferencias estacionales en la producción y en el valor nutritivo del forraje. El conocimiento acerca de la performance que presentan los cultivares permite planificar estrategias de utilización tendientes a maximizar la eficiencia del uso de los recursos disponibles. El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de la condición hídrica sobre el crecimiento de ecotipos de festuca alta durante la primer mitad de la primavera, en un periodo de crecimiento de  $550 \pm 50^\circ \text{Cdía}$ . En las variables estudiadas no se encontró interacción entre los ecotipos y condición hídrica. La producción de forraje fue diferente entre los materiales genéticos de festuca al igual que bajo las dos condiciones hídricas, en donde bajo sequía los materiales en promedio produjeron  $1.975 \text{ kgMS.ha}^{-1}$  vs  $2.861 \text{ kgMS.ha}^{-1}$  bajo capacidad de campo. Los ecotipos tuvieron diferente valor nutritivo y, el cultivar Quantum se destacó positivamente en este aspecto. La condición de sequía no afectó la calidad del forraje y fue la de mayor eficiencia en el uso del agua, donde por cada milímetro consumido se produjeron  $14,4 \text{ kgMS}$ , en relación a los  $8,9 \text{ kgMS.mmagua}^{-1}$  bajo la condición de capacidad de campo. Bajo esta última, el consumo hídrico fue de  $4,3 \text{ mm.día}^{-1}$  un 58% mayor que bajo sequía.

## 1. Introducción

En las últimas décadas, la producción ganadera de carne en Argentina se concentró principalmente en suelos no aptos para una agricultura económicamente rentable. En esos suelos es frecuente experimentar condiciones de deficiencias o excesos hídricos y un grado variable de salinidad y alcalinidad.

El desplazamiento de la ganadería hacia zonas y/o suelos de aptitud ganadera, no fue acompañado por una disminución en el número de existencias bovinas, lo cual dio como resultado un aumento en la carga animal por unidad de superficie (Arosteguy, 2010). En respuesta a estos cambios, los productores ganaderos, necesariamente deben optimizar la eficiencia del uso de los recursos disponibles. En este contexto con restricciones ambientales tiene una relevancia importante el uso de pasturas de festuca alta (*Schedonorus arundinacea* (Schreb.) Dumort.). Esta gramínea perenne templada tiene la capacidad de adaptarse a diversas condiciones edafoclimáticas y permite satisfacer gran parte de las necesidades de los actuales sistemas de producción ganaderos (Maddaloni y Ferrari, 2005). Según su origen, los ecotipos se pueden agrupar en:

a) Continentales (Cont): son originarios del norte de Europa. Poseen la capacidad de crecer durante todo el año y generalmente son de hojas anchas. Son los más utilizados a nivel mundial y local.

b) Mediterráneos (Med): son originarios de las áreas que rodean al mar homónimo. Tienen capacidad para crecer con menores temperaturas con respecto a los continentales y generalmente son de hojas finas. Son los más adecuados para ambientes con lluvias invernales y veranos secos. Esto se debe a su capacidad de entrar en un estado de latencia que le permiten tolerar mejor las sequías de verano con respecto a los continentales, que no poseen dicha característica (Ferrero, 2001).

c) Intermedios: son originarios del norte de España, presentan características intermedias entre los dos primeros, con baja dormancia invernal y buena producción primavera/verano (Olea *et al.*, 1980).

d) Rizomatosos: son originarios del norte de España y Portugal, tienen



rizomas más largos y en mayor cantidad que los ecotipos continentales y no son tan resistentes al frío (Bertín, 2010). Los materiales rizomatosos son utilizados en los programas de mejoramiento para césped (Hand *et al.*, 2012).

Es muy común que las gramíneas establezcan simbiosis con hongos endófitos. Estos no presentan manifestación de su presencia (síntomas ni signos) y colonizan los tejidos vivos sin ocasionar ningún efecto negativo sobre el hospedante (Omacini *et al.*, 2013). Es más, lo favorecen otorgándole un mayor vigor y protección contra insectos, hongos patógenos del suelo, entre otros (Bacon, 1993; Omacini *et al.*, 2013). La festuca alta forma una simbiosis con el endófito de la especie *Neotyphodium coenophialum*. Este posee reproducción asexual y es por eso que se transmite exclusivamente a través de la semilla de plantas infectadas (Omacini *et al.*, 2013). Este endófito, produce ergocalcoides, principalmente ergovalina, que especialmente en el verano, causan en el ganado la enfermedad denominada festucosis (cuyos síntomas son: elevada temperatura corporal, inapetencia, pérdida del brillo del pelo, abortos, gangrenas en las extremidades -orejas y cola-, y reducción en la ganancia de peso) (Bouton *et al.*, 2002). Las plantas infectadas suelen tener ventajas sobre aquellas libres de endófito frente a estreses bióticos y abióticos, por lo cual se realizaron diversas investigaciones para seleccionar cepas de hongos endófitos en festuca alta que no produzcan ergocalcoides, o que lo hagan en cantidades no tóxicas, denominándose a los mismos endófito amigable (Bouton *et al.*, 2002).

El déficit hídrico provoca pérdida de turgencia de los tejidos y disminuye la tasa de crecimiento, lo que resulta en un menor tamaño final de los órganos en expansión, un menor índice de área foliar (IAF), consecuentemente se reduce la acumulación de materia seca y afecta la eficiencia en el uso del agua (EUA), variable que Dardanelli *et al.*, (2004) han utilizado para definir la eficiencia con la cual las plantas fijan carbono en relación con el agua que se pierde. El déficit hídrico es un factor ambiental capaz de producir modificaciones en la EUA (Medrano *et al.*, 2007). Para cuantificar la magnitud del déficit hídrico, habitualmente se utiliza como indicador el contenido relativo de agua (CRA), el mismo es una medida del contenido de agua respecto al total de agua que puede almacenar el tejido y se expresa como porcentaje (Argentel *et al.*, 2006).

De acuerdo a estudios realizados en diferentes países, se pudo determinar que algunos cultivares de festuca alta poseen la capacidad de incrementar la profundidad y biomasa del sistema radical cuando experimentan condiciones de sequía. Esta cualidad les permitiría explorar el perfil del suelo a una mayor profundidad en búsqueda de agua y de esa manera satisfacer los requerimientos hídricos de un canopeo de menor porte (Grunberg, 2010).

Las respuestas de gramíneas forrajeras a sequías pueden clasificarse en evasivas y de tolerancia. Las respuestas evasivas son aquellas que implican cambios morfológicos que facilitan el acceso al agua del suelo que generalmente se encuentra a mayor profundidad y minimizan las pérdidas de agua por transpiración, dando como resultado una mayor eficiencia en el uso del agua. Las respuestas de tolerancia permiten mantener la turgencia de las células aun en condiciones de bajos potenciales hídricos foliares (Guenni *et al.*, 2006). Además de las respuestas anteriormente mencionadas, se observó que, ante condiciones de déficit hídrico, se reduce el macollaje y el número de hojas vivas por macollo, lo cual es acompañado por un aumento de la tasa de senescencia de hojas y macollos. Consecuentemente, el déficit hídrico reduce la vida media foliar y la densidad de macollos de las pasturas de festuca alta (Colabelli *et al.*, 1998). Los efectos del déficit hídrico sobre variables morfológicas a nivel de macollo y variables estructurales de las pasturas, inciden negativamente en el IAF que puede alcanzar la pastura. Por lo tanto, parte de la disminución de la tasa de crecimiento de la misma, bajo condiciones de déficit hídrico, puede explicarse a partir de la menor radiación interceptada.

Ante un déficit hídrico que perjudica el alargamiento celular, las nuevas hojas se desarrollan lentamente y las hojas adultas senescen más rápido, ambos procesos reducen el área fotosintética de la planta. Cuando esto ocurre concomitantemente con el desarrollo reproductivo, da como resultado una disminución de la relación hoja/tallo que directamente afecta el valor nutritivo del forraje, ya que disminuye el contenido de sustancias nitrogenadas y aumenta la proporción celulosa y lignina en los tejidos (Beguet y Bavera, 2001). Por lo tanto, un déficit hídrico severo afectaría directamente el valor nutritivo del forraje. Sin embargo existen investigaciones que indican que cuando el déficit hídrico no es demasiado severo, se genera un efecto positivo sobre el valor nutritivo del forraje, ya que la disminución de la elongación celular ocasionaría

una menor cantidad de tejido de sostén, pero no así la fotosíntesis, con lo cual se acumulan carbohidratos no estructurales dando como resultado un incremento del valor nutritivo con respecto a pasturas que no se someten a déficit hídrico (Ducrocq y Duru, 1997, Scheneiter *et al.*, 2014).

El valor nutritivo de festuca alta es determinado en mayor medida por el pasaje al estado reproductivo durante la primavera (Scheneiter *et al.*, 2014). La festuca alta en estado vegetativo, generalmente posee hasta 70% de digestibilidad verdadera *in vitro* de la materia seca (DVIVMS), 50% fibra detergente neutro (FDN) y 15% de proteína bruta (PB). Por lo anterior, permite obtener ganancias de peso vivo de hasta 1 kg.día<sup>-1</sup>. No obstante, esta gramínea al pasar al estado reproductivo sufre una serie de eventos morfológicos y fisiológicos que dan como resultado una disminución en el valor nutritivo del forraje, ya que la DVIVMS puede bajar a valores cercanos al 50%, la FDN superar el 60% y la PB ubicarse en niveles del 15%, lo cual afecta directamente al consumo y, por lo tanto, la respuesta animal (Agnusdei *et al.*, 2014). Varios estudios indican que el valor nutritivo depende parcialmente del germoplasma, evidenciándose similares valores de DVIVMS, de FDN y digestibilidad de la FDN (DFDN) en distintos morfotipos de festuca alta (Insua *et al.*, 2012, Carrete 1999). Sin embargo, de acuerdo a los cambios en la temperatura y fotoperiodo que ocurren en primavera, las pasturas de festuca alta son inducidas al pasaje a estado reproductivo. Ese momento coincide con un gran incremento de la acumulación de forraje y un cambio considerable en el valor nutritivo de la pastura. Esto último, es debido a que las plantas modifican su estructura y necesitan soporte para sostener la acumulación de biomasa (Agnusdei *et al.*, 2014).

Pese a la importancia de la festuca alta en los sistemas ganaderos del norte de la provincia de Buenos Aires, son escasos los estudios sobre el comportamiento de distintos ecotipos y del efecto de la presencia del endófito ante condiciones de estrés hídrico en dicha región (Grunberg, 2010). Por ello en este trabajo se proponen las siguientes hipótesis:

### 1.1. Hipótesis

- a) El ecotipo, la condición hídrica edáfica y la interacción de ambos factores

afectan la acumulación de forraje, la eficiencia en el uso de la radiación, la eficiencia en el uso del agua, el contenido relativo de agua y el consumo hídrico.

b) El valor nutritivo del forraje es afectado por la condición hídrica edáfica.

### 1.2. Objetivo general

Estudiar el efecto de la condición hídrica edáfica, sequía y humedad a capacidad de campo (CC), sobre el crecimiento de ecotipos de festuca alta, al principio de la primavera, en un periodo de crecimiento de  $550 \pm 50^\circ \text{Cdía}$ .

### 1.3. Objetivos específicos

Evaluar la producción de biomasa área y la eficiencia en el uso de la radiación en 6 ecotipos de festuca alta bajo dos condiciones hídricas edáficas (sequía y capacidad de campo)

Evaluar el valor nutritivo de forraje, el consumo hídrico y el contenido relativo de agua en hoja de un cultivar continental y de un cultivar mediterráneo de festuca alta, bajo dos condiciones hídricas edáficas, sequía y capacidad de campo.

Evaluar la eficiencia en el uso del agua de un cultivar continental y de un cultivar mediterráneo de festuca alta, bajo dos condiciones hídricas edáficas, sequía y capacidad de campo.

## 2. Materiales y Métodos

El experimento se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Pergamino (33° 57' S, 60° 33' O y 68 m snm), en un suelo Argiudol típico serie Pergamino durante la primavera del año 2015, con el fin de evaluar el efecto de sequía en un período de crecimiento de  $550 \pm 50^\circ \text{Cdía}$  en 6 ecotipos de festuca alta, uno mediterráneo y cinco continentales.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con parcelas divididas, en donde en la parcela principal, el factor fue la condición hídrica con dos niveles: sin agua de precipitaciones ni riego -sequía- y con agua de precipitaciones y riego para mantener la humedad edáfica a capacidad de campo -CC-. El factor de la sub-parcela fue el ecotipo con 6 niveles, de los cuales cuatro son cultivares comerciales -Flecha (Med), Quantum (Cont), Bar 2025(Cont), Baguala (Cont)- y dos son poblaciones de festuca alta-Balcarce con endófito (Cont) y Balcarce sin endófito (Cont)-. La parcela principal y las sub-parcelas se asignaron al azar en cada una de las repeticiones ( $n=3$ ). La parcela principal tuvo una superficie de 8 m de largo por 1 m de ancho, el primer metro de cada extremo de las parcelas principales fue de bordura y las sub-parcelas tuvieron una superficie de 1m de ancho por 2m de largo.

El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_k + \delta_{ik} + \gamma_j + (\tau\gamma)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Tratamientos:

- Parcela principal: condición hídrica ( $\tau_i$ ).
- Sub-parcela: ecotipo ( $\gamma_j$ ).
- Efecto bloque: ( $\beta_k$ )

Donde:

- $Y_{ijk}$  es la variable aleatoria que representa la observación k-ésima

del bloque que contiene el i-ésimo nivel del factor principal (condición hídrica) y el j-ésimo nivel del factor secundario (ecotipo).

- $\mu$  es la media general.
- $\tau_i$  es el efecto del i-ésimo nivel del factor principal ( $i= 1$  a  $2$ )
- $\beta_k$  es el efecto del k-ésimo bloque ( $k= 1$  a  $3$ )
- $\delta_{ik}$  es el error de la parcela mayor.
- $\gamma_j$  es el efecto del j-ésimo del factor secundario ( $j= 1$  a  $6$ ).
- $(\tau\gamma)_{ij}$  es la interacción del i-ésimo nivel del factor principal y j-ésimo nivel del factor secundario.
- $\varepsilon_{ijk}$  es el error aleatorio experimental.

Las variables analizadas cumplieron los supuestos estadísticos de independencia, normalidad y homogeneidad de varianzas. Las diferencias entre las medias se analizaron mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Para realizar los análisis estadísticos se utilizó el programa InfoStat.

Para lograr el tratamiento de sequía, se procuró que no ingrese agua de lluvia a las parcelas con déficit hídrico. Para ello se trabajó con páginas web que monitorean y pronostican las condiciones climáticas ([www.smn.gov.ar](http://www.smn.gov.ar), [www.radar.inta.gov.ar](http://www.radar.inta.gov.ar) y [www.windguru.cz](http://www.windguru.cz)) y, ante posibles precipitaciones, las parcelas se cubrieron mediante invernáculos móviles de 2,5 m de ancho por 8 m de largo. Para el tratamiento de CC, se regaron las parcelas con 25 mm, aplicados en tres veces, con el fin de mantener la humedad de suelo al objetivo planteado. Las precipitaciones acumuladas en el período experimental fueron de 240 mm. Si se tienen en cuenta los milímetros aplicados en forma de riego, las parcelas sometidas a CC recibieron, desde el 29 de septiembre del 2015 hasta el 23 de noviembre del 2015, 265 mm de agua.

Los cultivares comerciales se seleccionaron por su importancia en el mercado argentino. La población Balcarce con y sin endófito se incorporó para estudiar el efecto del mismo sobre el crecimiento de la festuca alta ante el déficit hídrico. Las parcelas del ensayo se sembraron el 27 de mayo del 2013. El experimento comenzó el 29 de septiembre del 2015 y finalizó el 23 de noviembre del 2015.

Dos meses antes de comenzar el experimento, las parcelas se fertilizaron con nitrógeno (N) a razón de 100 kg N.ha<sup>-1</sup>. Al momento de iniciar el ensayo se realizó un corte de limpieza a 0,05 m de altura mediante una motosegadora. El corte del rebrote primaveral se fijó en función de la suma térmica de 550±50°Cdía, con el fin de realizar un manejo óptimo del cultivo.

El 23 de noviembre del 2015, cuando las plantas sumaron 550±50°Cdía, se tomaron dos muestras de forraje por cada sub-parcela con un marco de 0,5 m<sup>2</sup> de superficie con tijera de mano para determinar la disponibilidad de forraje. El corte se realizó a 0,05 m de altura. Las muestras se pesaron en verde y posteriormente se tomó una alícuota de cada una de ellas de 0,250 kg para determinar el % de MS. Las cuales se secaron a 65 °C en estufa de aire a circulación forzada de aire hasta peso constante.

En todas las poblaciones durante el período experimental, cada 7 días aproximadamente, entre las 12 pm y las 13 pm se midió la radiación transmitida, con un ceptómetro, en la base de la pastura. También se midió la radiación solar incidente a fin de calcular la radiación absorbida por diferencia, bajo el supuesto que la radiación reflejada es nula. Luego de ello se calculó el % de la radiación incidente que es absorbida por el canopeo (fracción de la radiación fotosintéticamente activa (*f*PAR)). Con los datos diarios de radiación global incidente (RI), expresados en Mj.m<sup>-2</sup>, obtenidos de la estación meteorológica de la EEA Pergamino, del periodo comprendido entre el 23/9/2015 al 22/11/2015, se calculó para cada día la radiación fotosintéticamente activa incidente absorbida (RFA ia) según la siguiente fórmula:  $RFA\ ia = (RI * fPAR)/100$ . En los días en los cuales no se midió la radiación transmitida con el ceptómetro, la *f*PAR se estimó a partir de calcular el incremento de *f*PAR entre dos fechas medidas. Luego con ese valor se calculó la tasa de incremento dividiendo el incremento del *f*PAR por los días comprendidos entre las fechas medidas. De esta manera el *f*PAR estimado es igual a sumar el *f*PAR del día anterior con la tasa de incremento. La EUR se calculó con la producción de forraje (R, expresada en g.m<sup>-2</sup>) dividida la RFA ia, ambos valores acumulados durante el periodo del ensayo (EUR= R/ RFA ia) (Sinclair y Muchow, 1999).

Durante el periodo experimental, en los cultivares Flecha y Quantum, se muestreó el suelo con barreno de acero inoxidable (marca CSP), cada 15 días,

en cuatro profundidades (0-20; 20-40; 40-60; 60-80) para determinar el consumo de agua. La humedad edáfica se determinó mediante el método gravimétrico. Para ello, las muestras de suelo de cada horizonte, tomadas en el campo, se colocaron en frascos herméticos para pesarlos en el gabinete, luego de registrar el peso húmedo se los llevo a una estufa a 100°C hasta peso seco constante. Al finalizar el período experimental se midió el contenido relativo de agua en hoja en los cultivares Quantum y Flecha, para ello se tomaron 5 macollos en estado vegetativo por bloque entre las 11 y las 12 am, luego se pesaron con balanza de precisión, y se colocaron en una bandeja plástica con agua destilada cerrada herméticamente durante 24 horas (cámara húmeda). Cumplido el tiempo para que el tejido alcance la turgencia máxima, los macollos se secaron cuidadosamente para retirar el agua que se encontraba en la superficie vegetal. Luego, se pesaron y se colocaron en estufa de aire forzado a 65 °C hasta peso constante y posteriormente se registró dicho peso. Una vez obtenidos los tres pesos (peso fresco (Pf), peso fresco a máxima turgencia (Pfmt) y peso seco (Ps)) se aplicó la siguiente fórmula para calcular el contenido relativo de agua en hoja:(La Rosa *et al.*, 2011; Villalobos *et al.*, 1990)

$$\text{CRA (\%)} = \frac{(\text{Pf} - \text{Ps})}{(\text{Pfmt} - \text{Ps})} \times 100$$

En los cultivares Flecha y Quantum se determinó la calidad del forraje. Las muestras de cada tratamiento se molieron a 1 mm con un molino tipo Willey. Luego, en el Laboratorio de INTA EEA Pergamino, se realizaron los siguientes análisis:

- ✓ FDN (%): Fibra detergente neutro en base seca con Alfa-amilasa termoestable y sulfito de sodio (Método: Goering y Van Soest 1970, mediante Analizador de Fibra 200/220 ANKOM).
- ✓ DFDN (%FDN): Digestibilidad de la fibra detergente neutro en base seca. 30hs. de incubación. (Método: Goering y Van Soest, 1970 mediante el uso del Incubador Daisy II ANKOM).



- ✓ DVIVMS (%): Digestibilidad verdadera in vitro de la materia seca en base seca .30hs. de incubación. (Método: Goering y Van Soest, 1970 mediante Incubador Daisy II ANKOM).

## 2.1. Condiciones climáticas durante el periodo experimental:

La precipitación media mensual del mes de noviembre, fue superior y prácticamente duplicó a la media histórica de a la serie 1910/2015. En octubre, la precipitación fue levemente inferior a la media mensual histórica. Las temperaturas medias mensuales en la serie histórica 1967/2015 fueron similares a las medias históricas (tabla 1).

Tabla 1: Precipitaciones (mm) y temperaturas medias (°C) ocurridas en octubre y noviembre del 2015 y medias mensuales históricas.

	<b>Mes</b>	<b>Medias históricas</b>	<b>Año 2015</b>
<b>Precipitaciones(mm)</b>	<b>Octubre</b>	106	89
	<b>Noviembre</b>	104	195
<b>Temperatura media(°C)</b>	<b>Octubre</b>	16.6	14,9
	<b>Noviembre</b>	19.5	19,1

Fuente: Sistema de información y gestión agro meteorológica (SIGA) INTA

### 3. Resultados

#### 3.1. Acumulación de forraje

La producción de forraje no presentó interacción entre el factor condición hídrica y el factor ecotipo ( $p$ -valor: 0,29). Entre estos últimos, se evidenciaron diferencias significativas para la variable en estudio ( $p$ -valor: 0,0001) (Figura 1). La población Balcarce (independientemente de si es con/sin Endófito) fue el de mejor comportamiento, sin diferenciarse del cultivar Baguala, pero sí del resto de los materiales evaluados, (Figura 1). Tres de los materiales continentales (Balcarce E+, Balcarce E- y Baguala) acumularon mayor cantidad de forraje que el cultivar mediterráneo, mientras que Bar 2025 y Quantum no se diferenciaron del cultivar Flecha (Figura 1). En cuanto al factor condición hídrica, se encontraron diferencias significativas entre la condición seca y CC ( $p$ -valor: 0,02). Bajo la condición hídrica de capacidad de campo, la producción de forraje promedio de los 6 ecotipos fue de 2.860 kg MS.ha<sup>-1</sup>, un 45% superior a la producción bajo seca, que fue de 1.974 kg MS.ha<sup>-1</sup> (Figura 2).

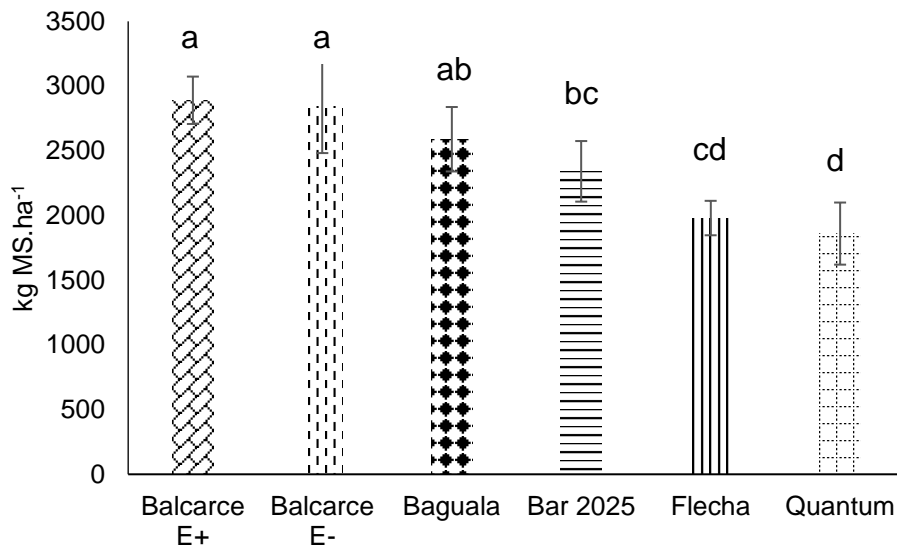


Figura 1: Acumulación de materia seca, promedio de 2 condiciones hídricas, de los 6 ecotipos evaluados.

Medias con letras distintas indican diferencias significativas entre los ecotipos ( $p \leq 0,05$ ).

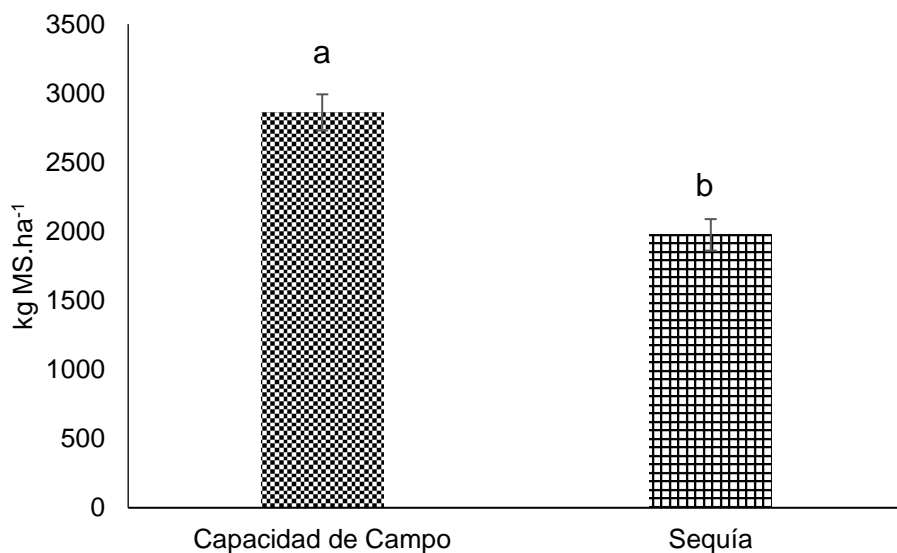


Figura 2: Acumulación de materia seca, promedio de los 6 ecotipos, bajo dos condiciones hídricas.

Medias con letras distintas indican diferencias significativas entre las condiciones hídricas ( $p \leq 0,05$ ).

### 3.2. Eficiencia en el uso de la radiación

La EUR no presentó interacción entre la condición hídrica y el ecotipo ( $p$ -valor: 0,48), ni efecto de la condición hídrica ( $p$ -valor: 0,11), solo fue afectada por el ecotipo ( $p$ -valor: 0,002). La población Balcarce E+ se diferenci

significativamente del resto de los materiales, a excepción de Balcarce E-. Por otro lado Quantum fue el cultivar continental con menor EUR, con valores similares a Flecha.

Tabla 2: Eficiencia en el uso de la radiación.

Ecotipos	EUR(g.mj <sup>-1</sup> )
Balcarce E+	0,77(±0,05) a
Balcarce E-	0,73 (±0,10) ab
Baguala	0,63 (±0,03)bc
Bar 2025	0,61(±0,06)bc
Flecha	0,56 (±0,04)cd
Quantum	0,47 (±0,05) d

Medias con letras distintas indican diferencias significativas entre ecotipos ( $p \leq 0,05$ ). Entre paréntesis se encuentra el error estándar.

### 3.3. Valor nutritivo del forraje

No se observó interacción ( $p < 0,05$ ) entre la condición hídrica y el ecotipo para ninguna de las tres variables estudiadas en relación al valor nutritivo del forraje

Se encontraron diferencias significativas entre los cultivares Flecha y Quantum ( $p$ -valor: 0,01) para la variable FDN%. Flecha alcanzó el valor de 68% con respecto al 63% de Quantum (Figura 3).

La DFDN% fue mayor ( $p$ -valor: 0,002) en el cultivar Quantum con respecto a Flecha (51 vs 40 %, respectivamente) (Figura 3). El mayor valor de DVIVMS ( $p$  valor: 0,01) fue observado en Quantum con un valor de 69%, el mismo fue un 16,7% superior a Flecha, que tuvo un valor de 59% de DVIVMS (Figura 3).

La condición hídrica no afectó significativamente la FDN ( $p$ -valor: 0,37), DFDN ( $p$ -valor: 0,33), y DVIVMS ( $p$ -valor: 0,23), que en promedio alcanzaron valores de 65, 46 y 64%, respectivamente.

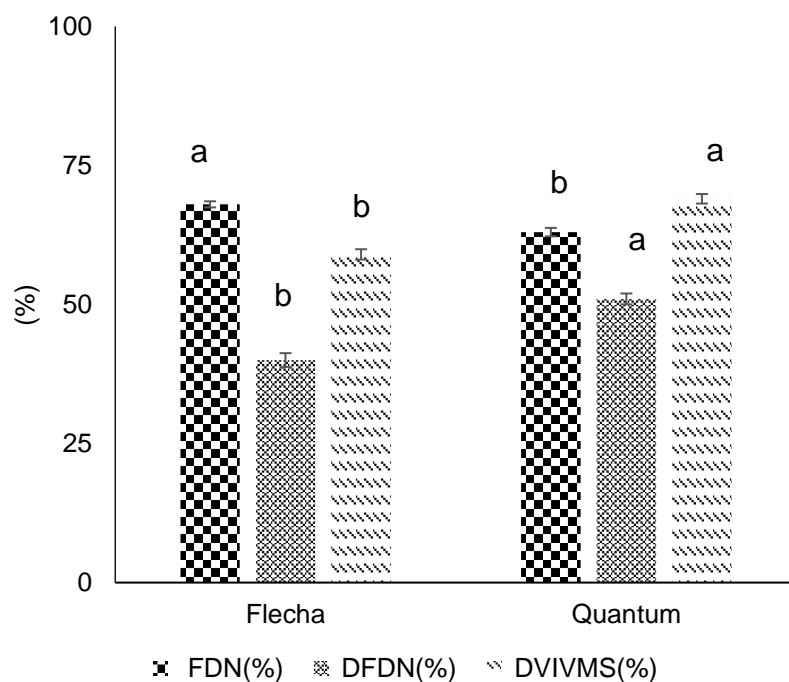


Figura 3: Variables de valor nutritivo de los cultivares de festuca, Quantum vs Flecha, en promedio de las dos condiciones hídricas evaluadas.

Medias de cada variable con letras distintas indican diferencias significativas entre cultivares ( $p \leq 0,05$ ).

### 3.4. Consumo hídrico

Para la variable consumo de agua (mm), no se encontró efecto de la interacción entre la condición hídrica y el ecotipo ( $p$ -valor: 0,55). Se encontró diferencia significativa entre sequía y CC ( $p$ -valor: 0,005). El consumo en CC fue de 260 mm, un 143% superior al de sequía, que fue de 107 mm. Estos valores significan que la festuca, en promedio entre los cultivares Quantum y Flecha, consumió 4,3 mm/día en CC y 1,8 mm/día en sequía.

El factor ecotipo no afectó significativamente el consumo hídrico ( $p$ -valor: 0,45), con un consumo promedio, para ambos cultivares, de 183 mm en el período evaluado.

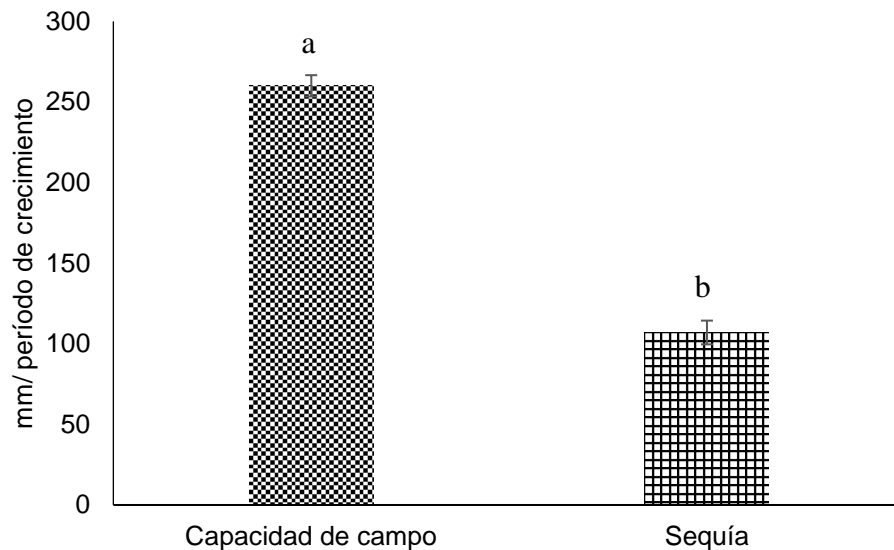


Figura 4: Consumo de agua bajo las condiciones hídricas de capacidad de campo y sequía, promedio de los cultivares de Quantum y Flecha, Medias de cada variable con letras distintas indican diferencias significativas entre condiciones hídricas ( $p \leq 0,05$ ).

### 3.5. Eficiencia en el uso del agua

Al analizar la eficiencia en el uso del agua, no se detectó interacción entre la condición hídrica y el ecotipo ( $p$ -valor: 0,16), al igual que no hubo efecto del ecotipo ( $p$ -valor: 0,53). La condición hídrica afectó significativamente a la EUA ( $p$ -valor: 0,02) en donde la misma bajo sequía, fue de  $14,4 \text{ kgMS} \cdot \text{mm}^{-1}$ , un 61% superior al valor EUA en la condición hídrica capacidad de campo, que tuvo un valor de  $8,9 \text{ kgMS} \cdot \text{mm}^{-1}$  (Figura 5).

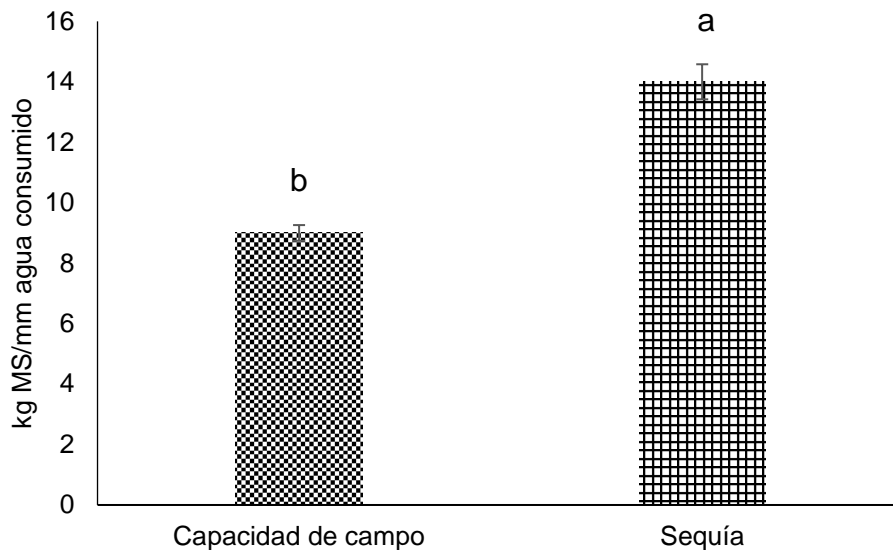


Figura 5: Eficiencia en el uso del agua para las condiciones hídricas de capacidad de campo y sequía, promedio de los cultivares de Quantum y Flecha.

Medias de cada variable con letras distintas indican diferencias significativas entre la condición hídrica ( $p \leq 0,05$ ).

### 3.6 Contenido relativo de agua en hoja

Para el contenido relativo de agua en hoja no se encontró interacción entre el factor condición hídrica y ecotipo ( $p$ -valor: 0,08). Se encontraron diferencias significativas entre los ecotipos ( $p$ -valor: 0,026) y entre la condición hídrica ( $p$ -valor: 0,047), observándose los mayores valores para el cultivar Quantum, con un 14% superior al obtenido por el cultivar Flecha. Bajo CC las hojas de festuca alta presentaron un 26 % más de agua, que las sometidas bajo condiciones de sequía (Tabla 3).

Tabla 3: Contenido relativo de agua en hoja en dos cultivares de festuca alta y en dos condiciones hídricas edáficas.

	CRA (%)
Flecha	57( $\pm$ 3,7) b
Quantum	65 ( $\pm$ 3,5) a
CC	68( $\pm$ 2,3) a
Sequía	54( $\pm$ 3,0)b

Medias con letras distintas indican diferencias significativas entre cultivares y entre condiciones hídricas ( $p \leq 0,05$ ). Entre paréntesis se encuentra el error estándar.

#### 4. Discusión

Las condiciones ambientales ( $T^{\circ}$  y precipitaciones) durante el periodo experimental no difirieron demasiado de las medias históricas, excepto las precipitaciones ocurridas durante el mes de noviembre que fueron un 88% superior a la media histórica para ese mes.

La acumulación de forraje en la primera mitad de la primavera suele ser afectada por el origen del ecotipo. Mazzanti y Arosteguy (1985) evaluaron 6 cultivares, de los cuales tres fueron continentales y tres fueron mediterráneos y, no hallaron diferencias entre los cultivares del mismo origen en un período similar al considerado en este trabajo. Estos autores reportaron que los materiales continentales y mediterráneos poseen distintos hábitos de crecimiento y en la primavera temprana ambos tienen los picos máximos de tasas de crecimiento, los continentales con mayores valores que los mediterráneos (Mazzanti y Arosteguy 1985). No obstante a ello, en el presente trabajo los cultivares Bar 2025 y Quantum, ambos continentales, no se diferenciaron del material mediterráneo, Flecha, diferenciándose solo las poblaciones continentales Balcarce E+, E- y del cultivar Baguala por un mayor crecimiento en la primavera temprana respecto al ecotipo mediterráneo, tal lo reportado por Mazzanti y Arosteguy (1985). La presencia del endófito no incrementó la acumulación de forraje con respecto a la misma población sin su presencia. De Battista y Peticari (2010) reportaron que la fotosíntesis y la EUA ante condiciones de estrés hídrico, se ven afectadas por la infección endófito



en festuca alta. En estos estudios, las plantas infectadas con endófito alcanzaron mayores tasas de fotosíntesis y EUA, respecto de las no infectadas (De Batista y Peticari 2010). En contraposición a lo que describe la bibliografía, en el experimento realizado no se encontraron diferencias entre los materiales infectados y libres de endófito. Esto podría deberse a que las condiciones ambientales durante el periodo experimental, no fueron suficientemente contrastantes como para que se expresen las ventajas de la infección endófito.

Aunque existieron algunas diferencias en cuanto a la acumulación de forraje entre los ecotipos, estas diferencias entre los distintos orígenes (continentales vs mediterráneos) no fueron tan marcadas como era de esperar. Dentro de las diferencias encontradas, la población Balcarce (en sus versiones con/sin endófito) fue la de mejor comportamiento. La mayor performance de algunos de los cultivares continentales respecto del cultivar mediterráneo parece tener relación con lo reportado por Mazzanti y Arosteguy (1985), quienes encontraron que tanto los cultivares continentales como mediterráneos, alcanzan máximas tasas de crecimiento durante la primavera temprana, aunque las mismas son mayores en los continentales y es por ello que en nuestro caso los mismos alcanzaron los mayores valores de acumulación durante el periodo de estudio.

Entre otras variables, la acumulación de forraje está fuertemente condicionada por la disponibilidad de agua en el suelo (Colabelli *et al.*, 1998). En el presente trabajo, bajo la condición de sequía, la acumulación de forraje fue significativamente menor respecto a la obtenida a CC. Esto pudo deberse a que bajo estas condiciones disminuye la tasa transpiratoria, lo cual siempre viene acompañado de una disminución en la absorción de CO<sub>2</sub> y, por lo tanto, de la fotosíntesis, que posteriormente da como resultado una menor producción de forraje (Beltrano *et al.*, 2014). La menor producción de forraje bajo sequía podría estar relacionada con alteraciones fisiológicas y bioquímicas provocadas por el déficit hídrico. Sin embargo, al contrario de lo que se esperaba encontrar en el ensayo, la condición hídrica no interactuó con los materiales evaluados. Jaureguizar (2015) reportó que los cultivares mediterráneos presentan una mayor producción de forraje frente a condiciones de bajas precipitaciones. Esto contrasta con los resultados del ensayo, aunque podría deberse a que durante el mes de noviembre se detectaron altos niveles de precipitaciones, capaces de

generar un movimiento horizontal de humedad edáfica e impidiendo que en el suelo se generen condiciones de sequía, en donde el material mediterráneo expresaría su capacidad diferencial de producción

En cuanto a la eficiencia del uso de la radiación, la cantidad de radiación interceptada está directamente relacionada con la producción de forraje (Beltrano *et al.*, 2014). Como se vio anteriormente, la producción de forraje en el periodo experimental varió entre los ecotipos, tal como sucedió con la EUR. En el periodo evaluado, la EUR no fue diferente bajo CC y sequía, a partir de este resultado se puede inferir que el déficit hídrico en el ensayo no fue lo suficientemente severo como para afectar la EUR, pero si afectó la acumulación de materia seca (MS). Al disminuir la acumulación de MS en conjunto con la radiación interceptada en sequía, la EUR no difirió entre las condiciones hídricas. A medida que se desencadena el déficit hídrico, primero se afecta el crecimiento celular y la acumulación de biomasa, si el déficit hídrico continuará en el tiempo, puede afectarse la EUR (Beltrano *et al.*, 2014). Las diferencias encontradas entre los ecotipos y entre la condición hídrica en la acumulación de forraje, pero no en EUR, podrían asociarse a que se captó más radiación con los tratamientos que produjeron más biomasa. Además, las variaciones en la producción de forraje y EUR entre los materiales de distinto origen, podrían deberse a diferencias estacionales en el crecimiento de los mismos.

Estudios anteriores demuestran que durante la primavera se alcanzan los máximos valores de EUR debido al mejor uso y repartición del carbono asimilado (Lattanzi, 1998). Bélanger *et al.* (1994) reportaron valores de 1,1 g.mj<sup>-1</sup> de EUR durante la primavera para poblaciones de festuca alta de tipo continental. En el experimento realizado, se evidenciaron menores valores de EUR que las citadas en bibliografía, esto podría relacionarse con la disponibilidad de nitrógeno(N) en el suelo, ya que deficiencias de este nutriente afectan la EUR. Pese a que dos meses antes de comenzar el experimento se fertilizó a razón de 100 kg/ha de N para evitar deficiencias, las precipitaciones ocurridas durante ese periodo que ascendieron a 280 mm, podrían haber generado grandes pérdidas de N por lixiviación, dejando a las poblaciones desprovistas del nutriente y afectando negativamente la EUR. En la tabla 2 se puede ver que entre algunos ecotipos no existieron diferencias, aunque los

mayores valores fueron alcanzados por la población continental Balcarce (E+) que fue la única en diferenciarse estadísticamente del cultivar Flecha (mediterráneo). Lattanzi (1998) reportó que a mediados de primavera la EUR aumenta en materiales continentales, mientras que en mediterráneos tiende a disminuir, y que esto se debe a que el desarrollo de estructuras reproductivas implica un cambio en el estado fisiológico del cultivo, menor partición a raíces, tasas de fotosíntesis sostenidamente altas y una producción de tejido más eficiente en el uso del carbono asimilado (tallos). En el cultivar mediterráneo la respuesta en la distribución de biomasa a aumentos de la temperatura es, probablemente, de menor magnitud o incluso en sentido opuesto al que se observa en ecotipos continentales debido a su latencia estival.

Las pasturas presentan variaciones en su valor nutritivo en las distintas etapas de crecimiento y en las diferentes fracciones de la planta. Estas diferencias se deben, además, a variaciones en las condiciones ambientales, al ecotipo y al manejo (Trujillo y Uriarte, 2011). Bajo las condiciones del período experimental, en las variables que determinan la calidad nutritiva del forraje no se encontró interacción entre el factor condición hídrica y el ecotipo, ni diferencias entre las condiciones hídricas. Sí, se hallaron diferencias significativas entre los ecotipos. Jaureguizar (2015) analizó el forraje de crecimiento de noviembre y reportó valores de FDN de 62 y 64% para ecotipos mediterráneos y continentales, respectivamente, sin encontrar diferencias entre ellos. Dichos resultados contrastan a los obtenidos en esta investigación en la cual el cultivar de origen mediterráneo, Flecha, tuvo mayor porcentaje de FDN (68 %) diferenciándose del cultivar continental, Quantum, que poseía un 63% de FDN. Carrete y Rimieri (2002) reportaron para este cultivar un valor de 67% de FDN, un 6% superior al obtenido bajo las condiciones experimentales. La digestibilidad de la fibra en detergente neutro fue diferente entre los ecotipos, en donde el cultivar Quantum, continental, tuvo una mayor digestibilidad que el mediterráneo, Flecha. Los menores valores de FDN y los mayores valores de DFDN% para Quantum, llevaron a que la DVIVMS% sea mayor que la del cultivar Flecha. Los ecotipos mediterráneos desarrollan estructuras reproductivas precozmente en primavera y esto afecta negativamente el valor nutritivo del forraje (Scheneiter y Amendola, 2009). El cuál, generalmente es más dependiente del estado fenológico que del ecotipo (Coleman *et al.*,

2010). Según Lattanzi (1998), es de esperar que con las condiciones ambientales durante la primavera, el ecotipo continental pase al estado reproductivo antes que el mediterráneo, y con ello aumente la FDN y disminuyan la DFDN y DVIVMS. Se han reportado resultados contrastantes en cuanto a la precocidad de ecotipos de distintos orígenes (mediterráneos y continentales). Sin embargo, en este trabajo, el cultivar mediterráneo, Flecha, resultó ser más precoz que el continental, Quantum, y llegó a floración con mayor rapidez, lo que dio como resultado mayores valores de FDN, menores de DFDN y por lo tanto menor valor de DVIVMS% que el continental. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Scheneiter y Amendola (2009), quienes hallaron que ecotipos mediterráneos desarrollan precozmente estructuras reproductivas durante la primavera y esto afecta el valor nutritivo del forraje. Trujillo y Uriarte (2011) reportaron que en el desarrollo fenológico de gramíneas, el pasaje del estado vegetativo al reproductivo, es acompañado por una disminución del valor nutritivo causado fundamentalmente por un incremento en el contenido de pared celular y una disminución de la digestibilidad. Scheneiter *et al.* (2014) observaron que la disminución de la DVIVMS a medida que aumenta la acumulación de forraje durante la primavera, está relacionada con cambios en la proporción y composición de los tejidos de las plantas a causa de los aumentos de fotoperiodo y temperatura. La disminución de la DVIVMS a medida que progresa la primavera puede asociarse a los cambios en el desarrollo de la planta, la disminución de la relación hoja/tallo, el aumento en el contenido de lignina y la disminución de la DFDN (Scheneiter *et al.*, 2014). Esto explicaría el menor valor nutritivo del cultivar mediterráneo en comparación con el cultivar continental en el ensayo realizado. En cuanto a la condición hídrica, no se detectaron diferencias entre las variables que reflejan el valor nutritivo para CC y sequía. Maddaloni y Ferrari (2005) reportaron que déficits hídricos leves reducen el desarrollo de las plantas, particularmente la elongación de los tallos, de este modo las plantas presentan una mayor proporción de hojas y una mayor digestibilidad en los tallos y, como consecuencia, un mayor valor nutritivo del forraje. La disminución del crecimiento ante déficit hídricos leves no se debe a una reducción del metabolismo, sino a una pérdida de turgencia (Dardanelli *et al.*, 2004). No es la reducción de fotoasimilados la causa de la reducción del crecimiento de los

tejidos en condiciones de sequía, ya que el umbral de estrés que induce una reducción del crecimiento suele ser inferior al umbral que induce reducciones de la conductancia estomática y la fotosíntesis (Dardanelli *et al.*, 2004).Pirella (2006) reportó que el déficit hídrico disminuye el contenido de la pared celular en hojas y tallos, dicha disminución varía en sus componentes estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina) y puede atribuirse a la necesidad de la planta de mantener altos valores de carbohidratos en formas solubles para realizar ajustes osmóticos, y la magnitud de los mismos depende de la severidad del déficit hídrico. La mayor concentración de carbohidratos en formas solubles ante condiciones de déficits hídricos, podrían mejorar el valor nutritivo del forraje, aunque en el experimento realizado, el déficit hídrico fue moderado y probablemente impidió que se expresen diferencias en las variables que condicionan el valor nutritivo del forraje entre sequía y CC. En cuanto a los cultivares, la precocidad del pasaje al estado reproductivo de Flecha explicaría el menor valor nutritivo cuando se lo comparó con el cultivar Quantum. Diferencias en precocidad entre los materiales pueden en parte explicar los resultados encontrados en valor nutritivo y en EUR.

El consumo de agua por las plantas es afectado por las condiciones ambientales. En condiciones de sequía, las plantas desencadenan eventos fisiológicos tendientes a minimizar las pérdidas de agua por transpiración (Beltrano *et al.*, 2014). El consumo hídrico en CC fue muy superior al de sequía, esto puede deberse a que en condiciones de estrés hídrico se reduce la apertura de los estomas y disminuye la transpiración (Beltrano *et al.*, 2014). Grunberg (2010) reportó que la festuca alta posee la capacidad de aumentar la profundidad y biomasa de sus raíces en respuesta a la sequía, de esta forma tiene la posibilidad de explorar horizontes más profundos que conservan humedad y así sustentar un canopeo de menor envergadura, ya que la tasa de crecimiento se ve restringida por estrés. Pese a esa capacidad que posee festuca alta para explorar horizontes más profundos ante condiciones de sequía, en el ensayo realizado, el consumo hídrico bajo sequía fue significativamente menor que en CC. Este menor consumo hídrico y menor acumulación de forraje en sequía, podría asociarse a que ante condiciones de déficit hídrico se disminuye la tasa de crecimiento, y con ello la generación de canopeo y además la apertura de los estomas, de ese canopeo de menor

porte, se encuentra limitada minimizando las pérdidas de agua por transpiración.

La eficiencia del uso del agua es una variable que suele ser afectada por la condición hídrica (Medrano et al., 2007). En el presente trabajo, bajo sequía las plantas presentaron un menor consumo de agua y menor producción de forraje pero alcanzaron valores más altos de EUA, es decir fijaron más carbono por mm de agua consumida. Medrano *et al.* (2007) reportaron que en condiciones de sequía se reduce el consumo de agua y se incrementa la eficiencia en su uso, además disminuye la asimilación de dióxido de carbono, el crecimiento y la producción de biomasa. Esto es coincidente con los resultados hallados en el experimento, en donde pudo evidenciarse que por cada mm de agua consumido se acumuló más forraje con la condición hídrica de sequía. Estos resultados podrían explicarse por una reducción de la apertura estomática y menores pérdidas por transpiración en la condición de déficit hídrico moderado, lo que determinó la mayor EUA en esta condición hídrica.

El contenido relativo de agua es un indicador de la tolerancia a la desecación, el mismo da una perspectiva del potencial hídrico del tejido analizado (Villalobos *et al.*, 1990). El CRA disminuye progresivamente a medida que avanza el estrés hídrico en festuca alta, sin embargo, Brevedan *et al.* (2003), no encontraron en festuca alta diferencias significativas ante condiciones hídricas contrastantes, y los valores de CRA rondaron entre 50 y 75%. En contraposición, los resultados obtenidos en el presente trabajo evidencian diferencias en el CRA entre los niveles del factor condición hídrica-CC y sequía-, y entre los niveles del factor ecotipo (cultivares Quantum y Flecha). Al considerar la condición hídrica, las plantas en CC tuvieron las hojas más turgentes (mayor CRA) que bajo sequía, mientras que al analizar los cultivares, se evidenció un mayor CRA para el cultivar Quantum, esto indica que en el ensayo el cultivar continental tuvo mayor capacidad para mantener un mejor estado hídrico, cuando se lo comparo con el cultivar mediterráneo. Malinowski *et al.* (2003) reportaron que materiales mediterráneos cesan el crecimiento en respuesta al aumento del fotoperiodo y de la temperatura aun con suministro de agua adecuado, esto podría explicar el menor valor de CRA del cultivar mediterráneo obtenido en el presente trabajo.

En función de lo antes presentado, se destaca la importancia de continuar con

este tipo de experimentos, en condiciones ambientales más extremas en los cuales se pueda tener más control sobre la disponibilidad de agua edáfica, para profundizar el conocimiento del comportamiento de distintos ecotipos de festuca y determinar cómo impacta la presencia del endófito frente a factores abióticos perjudiciales, ya que festuca alta es un recurso forrajero de gran potencial para la ganadería de la región pampeana.

## **5. Conclusión:**

La hipótesis planteada se rechaza debido a que el factor condición hídrica y el factor ecotipo se comportaron de manera independiente.

La acumulación de forraje fue afectada por el ecotipo y por la condición hídrica.

La eficiencia en el uso de la radiación sólo fue afectada por el ecotipo.

El valor nutritivo del forraje solo fue afectado por el ecotipo.

El consumo hídrico solo fue afectado por la condición hídrica.

La eficiencia en el uso del agua sólo fue afectada por la condición hídrica.

El contenido relativo de agua en el tejido fue afectado por el ecotipo y por la condición hídrica.

## 6. Bibliografía

Agnusdei, M.G., Insua J.R., Di Marco O.N. (2014). Longitud de la vaina como determinante de la calidad de hojas de *Festuca arundinacea* durante un período de rebrote. *Rev. Investigación Agropecuaria (RIA)*. ISSN 0325-8718. 40(2): 202-207.

Argentel, L.; Gonzalez, L.M.; Avila, C y Aguilera, R.(2006)Comportamiento del contenido relativo de agua y la concentración de pigmentos fotosintéticos de variedades de trigo cultivadas en condiciones de salinidad. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba. *Cultivos Tropicales*. 27 (3):49-53

Arosteguy, J. C. (2010). Utilización actual y futura de festuca alta en los sistemas de producción en Argentina. Conferencia plenaria. XII reunión anual sobre forrajeras "Pasturas base festuca: producción y manejo". INTA. EEA Pergamino. Sin paginación.

Bacon, C. W. (1993). Abiotic stress tolerances (moisture, nutrients) and photosynthesis in endophyte-infected tall fescue. *Agriculture, Ecosystems and environment* 44:123-141.

Beguet, H. A. y Bavera, G. A. (2001). Fisiología de la planta pastoreada. Curso de Producción Bovina de Carne, FAV UNRC. [En línea] [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pastoreo%20sistemas/04-fisiologia\\_de\\_la\\_planta\\_pastoreada.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/04-fisiologia_de_la_planta_pastoreada.pdf) [Último acceso 30-10-2017].

Bélanger, G.; Gastal, F y Warembourg, F.R (1994). Carbon Balance of Tall Fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.): Effects of Nitrogen Fertilization and the Growing Season. *Annals of Botany*. 74 (6):653-659.

Beltrano, J.; Gimenez, D.O.; Ruscitti, M y Baldoma, J. (2014). Estrés biótico y abiótico en las plantas. Cátedra Fisiología Vegetal 2014. Pag 10-29. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata.



Bertín, O (2010). Adaptación de la festuca alta para forraje al ambiente edafoclimático. XII Reunión anual sobre forrajeras "Pasturas base festuca alta: Producción y Manejo". Pag 50-58.

Bouton, J. H.; Latch, G. C. M.; Hill, N. S.; Hoveland, C. S.; McCann, M. A.; Watson, R. H.; Parish, J. A.; Hawkins, L. L. y Thompson, F. N. (2002). Reinfection of tall fescue cultivars with non-ergot alkaloid-producing endophytes. *AgronomyJournal*.94:567-574

Brevedan, R.; Fioretti, M. y Baioni S. (2003). Efectos fisiológicos en cuatro gramíneas templadas creciendo bajo regímenes de agua contrastantes. Departamento de Agronomía, UNS, y Cerzos (UNSCONICET). Sin paginación.

Carrete, J. (1999). Calidad del forraje en gramíneas perennes templadas. En Jornada a campo. Novedades en forrajeras: producción, calidad y mejoramiento. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. pp. 1-10.

Carrete. J.R. y Rimieri, P. (2002). Calidad del forraje de cuatro genotipos de festuca alta. *Revista Argentina de Producción Animal* 22:220- 221.

Colabelli, M.; Agnuscéi, M.; Mazzanti, A. y Labreveux, M. (1998). El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. [En línea] [http://www.produccion-animal.com.ar/producciony\\_manejo\\_pasturas/pastoreo%20sistemas/01-proceso\\_crecimiento.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/producciony_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/01-proceso_crecimiento.pdf) [Último acceso 30-10-2017].

Coleman, S.W.; Rao, S.C.; Volesky, J.D y Phillips, W.A.(2010). Growth and nutritive value of perennial C3 grasses in the southern great plains. *CropScience*. 50:1070-1078.

Dardanelli, J.; Collino, D.; Otegui, M. E. y Sadras, V. (2004). Producción de granos, bases funcionales para su manejo. Cap. XVI: Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, pp 377-442.

De Battista J.P y Peticari A. (2010). Impacto del hongo endófito *Neotyphodium* y de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) sobre el cultivo de festuca alta. En: XII Reunión Anual sobre Forrajeras. Pasturas base festuca alta: Producción y Manejo. Pergamino, Buenos Aires. pp. 19-32.

Ducrocq, H. y Duru, M. (1997). In vitro digestibility of green lamina of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) in relation to water deficit. *Grass and Forage Science* 52:432-438.

Ferrero, J. (2001). Festuca para la producción de leche. "Fescue for Milk" y "Tall Fescue Guide" Pacific Seeds. [En línea] <http://studyres.es/doc/425943/festuca-para-la-producción-de-leche>[Último acceso 30-10-2017].

Goering, H. K. y P. J. Van Soest. (1970). Forage Fiber Analysis. p379. USDA, ARS.

Guenni, O.; Gil, J. L.; Baruch, Z.; Marquez, L. y Nuñez, C. (2006). Respuestas al déficit hídrico en especies forrajeras de *Brachiaria* (Trin) Griseb (Poaceae). *Interciencia*. Caracas. 31(7):505-511. ISSN 0378-1844

Grunberg, K. (2010). Festuca alta y estrés abiótico. XII Reunión anual sobre forrajeras "Pasturas base festuca alta: Producción y Manejo". Pág. 43-49.

Hand, ML; Cogan, NO y Forster, JW. (2012). Molecular characterization and interpretation of genetic diversity within globally distributed germplasm collections of all fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) and meadow fescue (*F. pratensis* Huds.) *Theor. Appl. Genet.* 124:1127–1137.

Insua, J.R; Agnusdei, M.G y Di Marco, O.N (2012). Calidad nutritiva de láminas de dos cultivares de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb). *RIA/ Facultad de agronomía, Universidad Nacional de la Pampa*. 38 (2):190-195.

Jaureguizar, M y Scherger, E. (2015). Producción de forraje y calidad de diferentes especies de cebadilla y festuca asociadas con alfalfa. *Facultad de agronomía, Universidad Nacional de la Pampa*. Pag 1-53.

La Rosa, R.; Acuña, R.; Acurio, K.; Castillo, A.; Cepeda, C.; Chavarry, C.; Correa, M.; De la Cruz, L.; García, M.; Huamaní, M.; Jáuregui, J. y Villanueva, F. (2011). Respuestas fisiológicas de *hibiscus rosa-sinensis* (Malvacea) en el cerro El Agustino, Lima, Perú. *The Biologist (Lima)*. 9(1):1-8.

Lattanzi, F.A. (1998). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento de Festucas de tipo Templado y Mediterráneo. 115 p. Tesis Magister Scientiae. Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Maddaloni, J y Ferrari, L. (2005). Forrajeras y Pasturas Del Ecosistema Templado Húmedo De La Argentina, 2º Edición. - Editor/es: Maddaloni, J- INTA. 542 p. - ISBN/ISSN: 987-9455-49-5.

Malinowski, D.P y Stratton, T. (2003). Gramíneas perennes de invierno con dormancia estival verdadera. [En línea] [http://www.produccion-animal.com.ar/producción\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas%20artificiales/21-gramineas\\_perennes\\_de\\_invierno\\_con\\_dormancia\\_estival.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/producción_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/21-gramineas_perennes_de_invierno_con_dormancia_estival.pdf)[Último acceso 30-10-2017].

Mazzanti, A. y Arosteguy, J. (1985). Comparación del rendimiento estacional de forraje de cultivares de *Festuca arundinacea*. Revista Argentina de Producción Animal 5:157-165.

Medrano, H.; Bota, J.; Cifre, J.; Flexas, J.; Ribas-Carbo, M y Gulias, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. Investigaciones Geográficas (43):63-84.

Olea, L.; Paredes, J. y Martínez, A. (1980). «Tima» una nueva variedad de festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb). Revista Pastos, pág.75-83. Departamento de Pastos y Forrajes del SIA, Badajoz.

Omacini, M.; Gundel, P. E. y Semmartin, M. (2013). Huellas de la simbiosis pasto-endófito en el agro-ecosistema. En: Rizosfera, biodiversidad y agricultura sustentable. Editores: García de Salamone, I. E.; Vásquez, S.; Penna, C. y Cassán, F. Asociación Argentina de Microbiología. 339 p.

Pirella, M. (2006). Valor nutritivo de los pastos tropicales. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Pag 1-7.

Scheneiter, J.O y Amendola, C. (2009). Producción de carne en mezclas de alfalfa y festuca alta con diferente patrón estacional de acumulación de forraje. Revista Argentina de Producción Animal 29(2):119-129.

Scheneiter, J.O.; Camarasa, J.; Carrete, J.R. y Amendola, C.(2014). Is the nutritive value of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) related to the accumulated forage mass?. John Wiley & Sons Ltd. Grass and Forage Science, 71:102–111.

Sinclair, T. y Muchow, R. (1999). Radiation use efficiency. Advances in Agronomy, 65:215-265.

Trujillo, A y Uriarte, G. (2011). Valor nutritivo de las pasturas. Departamento de producción animal y pasturas. Universidad de la República, Uruguay. 19 p. [En línea] [http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/ALIMENTOS%20RUMIANTES/Trujillo\\_Uriarte.VALOR\\_NUTRITIVO\\_PASTURAS.pdf](http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/ALIMENTOS%20RUMIANTES/Trujillo_Uriarte.VALOR_NUTRITIVO_PASTURAS.pdf)[Último acceso 30-10-2017].

Villalobos, E.; Umaña, C. H. y Sterling, F. (1990). Determinación de

contenido relativo de agua en progenies de palma aceitera (*Elaeisguineensis*), durante la época seca en Quepos, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 14(1):73-78.