

**EFFECTO DEL AMBIENTE INICIAL Y LA FERTILIZACION NITROGENADA
SOBRE LA PRODUCCION DE FESTUCA ALTA**

Trabajo Final de Grado
del alumno

ESTEBAN BLAZEVOICH

Este trabajo ha sido presentado como requisito
para la obtención del título de

Ingeniero Agrónomo

Carrera

Ingeniería Agronómica

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

Pergamino 31 de marzo del 2025.

**EFFECTO DEL AMBIENTE INICIAL Y LA FERTILIZACION NITROGENADA
SOBRE LA PRODUCCION DE FESTUCA ALTA**

Trabajo Final de Grado

del alumno

ESTEBAN BLAZEVIK

Aprobada por el Tribunal Evaluador

(Nombre y Apellido)
Evaluador/a

(Nombre y Apellido)
Evaluador/a

(Nombre y Apellido)
Evaluador/a

AGUSTINA LAVARELLO
HERBIN **Co-**
Director/a

JUAN MATTERA
Director/a

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

Pergamino, 31 de marzo 2025.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi Director Juan Mattera y Co- Director Agustina Lavarello Herbin por su constante apoyo y dedicación.

A EEA- INTA Pergamino por abrirme sus puertas para desarrollar esta tesina.

A la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires por formarme profesionalmente y como persona.

Al grupo de trabajo de Forrajeras por su colaboración.

A mi familia por ser mi gran sostén.

A mi señora por haberme ayudado y acompañado en todo momento durante la etapa de estudiante.

A mis amigos de siempre y los que fui conociendo en esta maravillosa etapa.

INDICE

AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	5
PALABRAS CLAVE.....	5
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 Características de la especie	7
1.2 Componentes del rendimiento de forraje en festuca alta	8
1.3 Nutrición nitrogenada	8
1.4 Hipótesis.....	11
1.5 Objetivo general.....	11
1.6 Objetivos específicos.....	12
2. MATERIALES Y METODOS.....	13
3. RESULTADOS	16
3.1 Producción de forraje.....	16
3.2 Intercepción de la radiación promedio	18
3.3 Evolución de la intercepción de la radiación.....	19
3.4 Cobertura	24
3.5 Evolución de la cobertura.....	26
3.6 Contenido de nitrógeno	29
3.7 Índice de nutrición nitrogenada.....	31
3.8 Relaciones entre las variables estudiadas.....	33
4. DISCUSIÓN.....	36
4.1 Producción de forraje.....	36
4.2 Intercepción de la radiación.....	37
4.3 Cobertura	37
4.4 Contenido de nitrógeno	38
4.5 Índice de nutrición nitrogenada (INN)	39
4.6 Relaciones entre variables	39
5. CONCLUSIÓN	41
6. BIBLIOGRAFIA	43

RESUMEN

Las pasturas de festuca alta desempeñan un papel clave en la producción forrajera en Argentina, donde la eficiencia en el uso de fertilizantes es fundamental para la sostenibilidad de los sistemas productivos. En la región pampeana, la fertilización nitrogenada es una práctica común para mejorar la oferta forrajera, aunque su efectividad puede variar según el ambiente y las condiciones climáticas. En este contexto se planteó esta investigación cuyo objetivo principal es evaluar el efecto de fertilización nitrogenada en función del ambiente nutricional inicial sobre la interceptación de la radiación, la producción de biomasa aérea y el contenido de nitrógeno de pasturas de festuca alta. El experimento se llevó a cabo en la EEA INTA-Pergamino, Argentina, bajo un diseño de parcelas divididas para evaluar el efecto de diferentes situaciones iniciales de nutrición y niveles de fertilización nitrogenada sobre la producción de forraje en festuca alta. Se estudiaron variables como la biomasa aérea, la radiación fotosintéticamente activa y la cobertura vegetal, como también el estatus nutricional de las plantas a través del contenido de nitrógeno y el índice de nutrición nitrogenada. Los resultados indican que la producción de forraje de festuca alta fue influenciada positivamente tanto por la fertilidad inicial del ambiente como por la fertilización nitrogenada, con variaciones en la estacionalidad y magnitud de la respuesta. Además, las mejores condiciones de nutrición de las plantas mejoró la interceptación de radiación y el contenido de nitrógeno. Los efectos disminuyeron hacia la primavera tardía, es decir a medida que se alejó temporalmente de la aplicación de los fertilizantes. Este trabajo aporta resultados regionales sobre el impacto de la nutrición de pasturas de festuca alta durante la estación otoño-invernal.

PALABRAS CLAVE

Pasturas templadas; Nutrición vegetal; Producción de forraje; Interceptación radiación; Contenido de nitrógeno

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha observado en nuestro país un avance de la frontera agrícola y el desplazamiento de la ganadería hacia otras zonas más marginales, acompañado de una mayor intensificación de esta actividad. Por estas razones la ganadería en la región pampeana ha quedado mayormente concentrada en lotes con mayores limitantes, como así también zonas extra pampeanas. Este proceso se acompañó del remplazo de lotes de buena aptitud, antes destinados a la ganadería, por cultivos agrícolas, especialmente soja, dada la gran demanda internacional de este cultivo y los altos márgenes de ganancia que ésta genera (Paruelo et al., 2005).

Esta situación hizo que se revalorizaran aquellas especies de mayor adaptación productiva. Dentro de estas especies, la festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) es una de las gramíneas perennes cultivadas que mejor se adapta a las condiciones edafoclimáticas de la Región Pampeana húmeda de la Argentina. Las pasturas perennes que incluyen festuca alta son utilizadas en sistemas de producción sostenible de carne y de leche, están ampliamente distribuidas en toda la región pampeana y en ellas la festuca es consociada generalmente con alfalfa, tréboles y *Lotus spp.*, como leguminosas acompañantes (Rimieri et al., 2002; Scheneiter, 2002).

La optimización de la productividad de los sistemas agropecuarios depende en gran medida de un adecuado suministro de nutrientes, el nitrógeno es considerado el factor limitante más importante, después de la deficiencia de agua, para la producción de biomasa (Lemarie y Gastal, 1997). Es abundante la información local (Mazzanti, 1997; Lattanzi, 1998; Agnusdei et al., 2010) e internacional (Whitehead, 1995; Chapman y Lemaire, 1996) referida al efecto de las deficiencias nutricionales limitando el crecimiento y la producción de forraje.

1.1 Características de la especie

La festuca alta es la gramínea forrajera perenne más difundida y la que mejor se adapta en las regiones templadas húmedas y sub-húmedas de la Argentina (Agnusdei et al., 2010). Pertenece a la familia de las poaceas, sub familia pooideas, tribu festuceas (Parodi et al., 1958).

Es una especie nativa de la parte central y noreste de Europa (Maddaloni y Ferrari, 2001), esta especie tiene un sistema radical extenso y profundo, ideal para la recuperación de la estructura de los suelos generalmente degradados por el uso agrícola intensivo y la erosión (Pagano y Rimieri, 2001). Posee alta resistencia al pisoteo; es poco afectada por insectos y enfermedades y persiste en condiciones de sequías transitorias. Se desarrolla bien en una diversidad de ambientes, ya que tolera suelos pesados, pH relativamente elevados y encharcamientos (Agnusdei et al., 2010). Los cultivares pueden ser de tipo mediterráneo o continental; los mediterráneos - producen más que los continentales en otoño-invierno, y los continentales más que los mediterráneos en primavera-verano (Mazzanti y Arosteguy, 1985). Esto la convierte en una especie apta para la producción de ganado en ambientes marginales para la producción agrícola (Rimieri et al., 2002).

La planta de festuca alta tiene hábito de crecimiento cespitoso, forma matas densas y desarrolla rizomas cortos. Su sistema radicular puede explorar hasta 1,80 m de profundidad, aunque la mayor densidad de raíces se encuentra en los primeros 35 cm del suelo (Maddaloni y Ferrari, 2001; Cattoni, 2010). El follaje es verde intenso, las láminas de las hojas presentan un leve brillo en el envés y se disponen en un ángulo de 90° respecto al suelo. La inflorescencia es una panoja laxa, multiflora y el fruto es un cariopse envuelto por lemma y palea (Maddaloni y Ferrari, 2001). Es una especie alógama de fecundación cruzada obligada (Forster et al., 2001; Cattoni, 2010; Rognli et al., 2010).

1.2 Componentes del rendimiento de forraje en festuca alta

La acumulación de materia seca está determinada fundamentalmente por la intercepción y la eficiencia de conversión de la radiación interceptada por el canopeo a fotoasimilados (Gifford et al., 1984). La partición de los asimilados también influye sobre la producción de materia seca y depende del estadio de desarrollo del cultivo y las condiciones ambientales (Gillet, 1984; Durand et al., 1991; Bélanger et al., 1992).

El proceso de crecimiento y desarrollo en festuca alta, puede ser explicado la morfogénesis que es la dinámica de la aparición y la expansión de órganos de la planta y su distribución en el espacio (Chapman and Lemaire, 1986). Las principales variables morfogenéticas son la tasa de aparición de hojas (TAH), la tasa de expansión foliar (TEF), que es el incremento en el largo individual de la hoja a través del tiempo ($\text{mm}/^{\circ}\text{Cd}$) y la vida media foliar (VMF) que se puede medir en un macollo individual como el tiempo que transcurre entre la aparición de un tejido foliar verde y el comienzo de su amarillamiento. Este período de tiempo es de importancia ya que representa el periodo en que la hoja acumula fitomasa sin pérdidas por senescencia. Estas variables están genéticamente determinadas (Chapman y Lemaire, 1993), y son expresadas generalmente en tiempo térmico, para evitar la influencia de la temperatura.

Estas variables determinan los cambios estructurales de las pasturas; el tamaño de las hojas, el número de hojas por macollo y el número de macollos, la combinación de estos componentes determinará el índice de área foliar, que es una variable del canopeo que determina la capacidad para captar energía lumínica para la fotosíntesis y abastecer funciones de crecimiento, es decir estará muy relacionada con la producción de forraje.

1.3 Nutrición nitrogenada

Una correcta nutrición de la pastura es fundamental para mantener la salud y la fisiología óptima de la planta, lo que a la vez se traduce en un mejor rendimiento, resistencia a enfermedades y estrés, y calidad nutricional para la producción animal.

Las plantas requieren macro y micro nutrientes esenciales en cantidades y periodos de absorción variables entre especies, genotipos, estados de crecimientos y condiciones edafo-climáticas de cada ambiente.

La concentración de nutrientes en la planta no se mantiene constantes durante el ciclo de crecimiento, en las etapas iniciales del desarrollo de una cubierta, con plantas jóvenes constituidas principalmente por hojas, los valores son mayores y disminuyen en la medida que se acumulan tejidos de sostén como tallos (Lemaire y Gastal, 2009).

Los requerimientos de la especie forrajera varían según el nutriente considerado. En función de las cantidades requeridas por la planta se hará referencia a macronutrientes y micronutrientes. La demanda está estrechamente asociada con la producción de forraje, la producción será limitada por la ley del mínimo de Liebig. Si un factor de crecimiento es deficiente, el crecimiento de la planta está limitado, incluso si el resto de factores son adecuados. La limitación se revertirá reestableciendo niveles adecuados del factor limitante.

Hay una variación estacional del crecimiento y demanda de nutrientes. La tasa de crecimiento determina la demanda de nutriente, en forrajeras templadas como el caso de la festuca alta, las cuales tienen una temperatura base de 4 - 5°C y manifiestan activo crecimiento cuando crecen con disponibilidad de agua y temperaturas superiores a 8-10 °C (Agnusdóttir et al., 2013). La especie como la festuca alta de ciclo de producción otoño-invierno-primavera (OIP), presenta mayores requerimientos nutricionales a la salida del invierno y durante la primavera. Durante el invierno con temperaturas inferiores a 5-8°C, las tasas de crecimiento y los requerimientos nutricionales son mínimos. Los requerimientos nutricionales pueden diferir entre especies forrajeras en función de las diferencias morfológicas y fisiológicas existentes entre ellas y de su manejo.

Los recursos forrajeros adecuadamente nutridos utilizan más eficientemente los recursos del ambiente, crecen a mayores tasas, adelantan la oferta de forraje y cuando se los utiliza oportunamente, presentan mayor calidad que aquellos que crecen con

deficiencias nutricionales. Las deficiencias nutricionales restringen el crecimiento y las plantas no pueden aprovechar los recursos que ofrece el ambiente (por ejemplo, la radiación solar y el agua). Como consecuencia, la producción de forraje resulta inferior a la esperable para cada sitio, es decir la producción alcanzada se alejará de la esperada para dicho ambiente por la deficiencia nutricional.

El nitrógeno es uno de los principales macronutrientes que las plantas necesitan para crecer y expresar su potencial productivo. El ingreso de nitrógeno al sistema aumenta la tasa de crecimiento de las plantas, resultando en un mayor rendimiento de forraje para un momento determinado del rebrote (Lemaire y Salette, 1982; Mazzanti et al., 1997; Scheneiter O. 2013). Dicho incremento en el crecimiento de las pasturas puede generar una mayor intercepción de la radiación, dado el incremento de la cobertura del suelo por parte de las pasturas fertilizadas.

La fertilización nitrogenada tiene también un efecto promotor de la calidad del forraje, al afectar positivamente el contenido de proteína bruta, la cual alcanza un máximo poco después de que hubiera ocurrido la aplicación, y después cae rápidamente a medida que progresa el crecimiento (Wilman, 1975). Este resultado puede ser explicado por la rápida absorción del nitrógeno por parte de las plantas, inmediatamente después de su aplicación (Peyraud et al., 1997). El contenido de carbono soluble en gramíneas, en cambio, aumenta con la reducción de los niveles de fertilización, debido a una disminución en la utilización de las cadenas carbonadas para la síntesis de proteínas y para la producción de la energía requerida para la reducción de los nitratos antes de la síntesis proteica (Valk et al., 1996; McGrath, 1992). El efecto de la fertilización sobre otros componentes que definen la calidad del forraje, como la fibra, parece ser contradictorio según los antecedentes de la literatura (Peyraud et al., 1997).

Para evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrógeno del forraje, puede utilizarse el índice de nutrición nitrogenada (INN), que se define como la relación entre la concentración actual de nitrógeno en la biomasa aérea y la concentración nitrogenada crítica, la cual se establece en función de la concentración

mínima de nitrógeno necesaria para sostener las máximas tasas de crecimiento (Lemaire y Gastal, 2009). Si bien hay antecedentes de la utilización de este indicador en la región sur de la provincia de Buenos Aires (Errecart et al., 2012), su uso en la región norte de la provincia es más incipiente.

En este marco, se analizó el efecto de diferentes estrategias de fertilización nitrogenada sobre la interceptación de la radiación, la producción de forraje y la cobertura en festuca alta, en función de distintas situaciones iniciales de nutrición nitrogenada. Si bien la festuca alta es una especie perenne, a fines de esta tesis nos centraremos en su primer año productivo, luego de superada la fase de establecimiento.

Este trabajo se realizó con el fin de aportar mayor conocimiento sobre el comportamiento de la festuca ante diferentes estrategias de manejo de la fertilización y el efecto que tiene dicha estrategia de manejo sobre la interceptación de la radiación y la producción de biomasa. El estudio de las estrategias de fertilización aporta conocimientos para un manejo más eficiente de la misma, con un impacto sobre la productividad y sustentabilidad de los sistemas ganaderos de base pastoril.

1.4 Hipótesis

- La mayor producción de forraje de festuca alta se obtiene con una alta dosis de nitrógeno, en un ambiente con elevada fertilidad inicial.
- La mayor producción de forraje y contenido de nitrógeno se asocia con una mayor radiación interceptada por la pastura.

1.5 Objetivo general

Evaluar el efecto de fertilización nitrogenada en función del ambiente nutricional inicial sobre la interceptación de la radiación, la producción de biomasa aérea y el contenido de nitrógeno de pasturas de festuca alta.

1.6 Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento de la festuca alta con distintas dosis de fertilización nitrogenada, bajo diferentes ambientes nutricionales iniciales.
- Evaluar la relación entre la radiación interceptada, la dosis de fertilización y el estado nutricional de pasturas de festuca alta.
- Establecer relaciones funcionales entre el porcentaje de radiación interceptada y la cobertura estimada mediante fotografías.

2. MATERIALES Y METODOS

El ensayo fue establecido en la EEA INTA-Pergamino, provincia de Buenos Aires, Argentina (-33.952,-60.568). El clima es templado-húmedo, con temperatura promedio de 17.3 °C y precipitación media anual de 1056 mm. El suelo consiste en una asociación de suelos Argiudol típico fase moderadamente erosionada y un Argialbol argiácuico, con capacidad de uso III_{ew}. Se sembró una pastura de festuca alta cv. Quantum ecotipo continental de Biscayart. La siembra se realizó el 16/06/20 con un distanciamiento entre hileras de 17,5 cm y una densidad de siembra de 25 kg ha⁻¹, sobre un suelo con labranza convencional que recibió dos pasadas de rastra de discos y rastra de dientes.

Los tratamientos resultaron de la combinación de tres ambientes, definidos como tres situaciones iniciales de nutrición de nitrógeno y de fosforo establecidos mediante la fertilización inicial con ambos nutrientes (1- 0P0N; 2- 30P150N y 3- 60P300N de cada nutriente expresado como elemento en kg ha⁻¹) establecidos el 01/04/2021 y cuatro dosis de fertilización nitrogenada (0N; 50N; 100N y 150N expresado como elemento en kg ha⁻¹) realizada el 26/05/2021. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas con las situaciones iniciales de nutrición como parcela mayor y las dosis de N como subparcela (n=3). Los fertilizantes utilizados fueron urea y superfosfato triple de calcio. Se evaluó la producción de forraje (KgMS.ha⁻¹) durante el otoño-invierno-primavera del primer año de producción, luego del año de implantación. El experimento continuará en el marco de un proyecto de INTA, a los efectos de este trabajo final de grado se limitó al primer año de producción. Para evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el estatus nutricional de la pastura, se determinó en dos momentos del año (invierno y primavera) el nitrógeno (Kjheldal). Para ello se molieron las muestras de dos cortes (invierno y primavera) las cuales se llevaron a analizar al laboratorio del INTA Pergamino. Con los resultados de dichos análisis se estimó el índice de nutrición nitrogenada (INN) descripto anteriormente (Lemaire y Gastal, 2009).

Las muestras de producción de biomasa se tomaron con un aro de 0,25 m², donde se realizó el corte con tijera en el interior del aro a una altura de 5 cm (un puño). Luego se pesaron (peso materia verde) y se secaron con aire de circulación forzada a 65 °C durante 48 h. Una vez seca la muestra (peso constante) se determinó el peso seco y se calculó el porcentaje de materia seca y la producción de materia seca por hectárea. Con los datos obtenidos se realizará un ANOVA con parcelas divididas para evaluar el efecto de los tratamientos (ambiente x dosis de nitrógeno) sobre la productividad de la pastura. Asimismo, se realizaron mediciones de la radiación fotosintéticamente activa, la cual se cuantificó a través del ceptómetro, con intervalos de aproximadamente 15 días. Las mediciones se realizaron siempre cerca del mediodía (entre las 12:00 y las 14:00 horas del día), bajo condiciones de cielo despejado. La radiación solar incidente se midió por encima (Ia) y por debajo del canopeo (Ib). Las Ib se midieron 3 veces dentro de cada subparcela de 10,5 m² y para la (Ia) se realizó una única medición por subparcela. Se determinó también el porcentaje de cobertura vegetal, a través de la toma de una fotografía de cada sub parcela, también con una frecuencia de 15 días aproximadamente. Esta fotografía se analizó con la aplicación “Canopeo” del celular, la cual cuantifica el porcentaje de cobertura vegetal.

En el periodo experimental las temperaturas de verano coinciden con la media de los últimos 10 años (Tabla 1), en el otoño el mes de abril las temperaturas fueron superiores a la media, pero en mayo, junio fueron inferiores respecto la media. En invierno y verano coinciden con la media de la última década. Las precipitaciones fueron muy inferiores al promedio de los últimos 10 años. La precipitación fue, respecto de valores promedio de los últimos 10 años, inferior en febrero, abril, junio, agosto, septiembre, octubre, diciembre, superior en el mes de marzo, e igual comportamiento al promedio de los últimos 10 años en los meses enero, mayo, julio, noviembre.

Tabla 1. Precipitaciones, temperaturas máximas, mínimas, medias año 2021 y promedio de los últimos 10 años.

Mes	Pp (mm)	Temperatura (°C)		
		Mínima	Máxima	Media
Ene	169,9 (173,15)*	15,64 (16,49)	29,9 (29,85)	22,77 (23,17)
Feb	9,2 (123,7)	16,29 (15,02)	29,27 (27,92)	22,78 (21,47)
Mar	106,6 (89,99)	13,82 (12,51)	25,89 (25,92)	19,85 (19,22)
Abr	76,3 (108)	12,7 (11,39)	27,63 (24,17)	20,18 (17,85)
May	75,2 (79,12)	6 (8,01)	17,87 (19,44)	11,94 (14,39)
Jun	5 (25,4)	4,2 (4,59)	15,2 (16,42)	9,67 (11,46)
Jul	25,6 (25,52)	3,15 (3,72)	17,44 (16,32)	10,3 (11,09)
Ago	26,4 (66,43)	5,04 (5,74)	19,49 (18,08)	12,26 (12,23)
Sep	26 (46,12)	9,05 (7,53)	19,64 (21,05)	14,34 (14,41)
Oct	33,2 (99,2)	10,1 (10,3)	25,9 (23,2)	18 (17,3)
Nov	131,4 (123,4)	13,88 (13,04)	26,63 (27,1)	20,26 (19,99)
Dic	34,8 (127)	17,31 (15,31)	30,11 (29,77)	23,71 (22,53)

*Datos observados y entre paréntesis promedio (2011-2021)

El efecto del ambiente y la fertilización sobre la radiación absorbida y la producción de forraje se analizó a través de análisis de varianza con parcelas divididas (alfa: 0,05) mediante el software Infostat. Las relaciones entre la radiación absorbida, la producción de forraje, y la cobertura, por su parte, se evaluaron a través de regresiones. Esta metodología estadística puede aplicarse en este caso porque ambas constituyen variables cuantitativas continuas. Comparación de medias se realizó a través de test de fisher. Con los datos obtenidos de intercepción y cobertura se realizó un análisis de regresión lineal simple para analizar la relación entre la variable respuesta MS y las variables independientes radiación interceptada y % de cobertura, en cada uno de los tratamientos de fertilización.

3. RESULTADOS

3.1 Producción de forraje

De acuerdo con el análisis de varianza la producción de forraje no presentó interacción entre el ambiente y la fertilización para ninguno de los períodos evaluados ni tampoco para la producción total ($p > 0.05$; Anexo 1 al Anexo 5). Al analizar la producción de forraje acumulada se puede observar que las diferencias dadas por el ambiente fueron significativas ($p < 0.05$) (Tabla 2), se diferenciaron los tres ambientes. En el ambiente 3 la producción de materia seca fue superior respecto el ambiente 1 (+55%) y un (+23%) respecto el ambiente 2. El efecto de la fertilización nitrogenada sobre la producción de forraje acumulado fue también significativo, siendo el tratamiento con la dosis de 150 kg N/ha mayor rendimiento, logro un +20% de rendimiento respecto el tratamiento testigo (0 kg N/ha) y +11% respecto el tratamiento de 50 kg N/ha. que obtuvo un comportamiento intermedio entre el testigo y el tratamiento de mayor dosis, las diferencias entre los tratamientos 100 y 150 kg N/ha no fueron significativas.

Tabla 2. Valores promedio de producción de forraje expresado en materia seca según el tratamiento del ambiente inicial y la fertilización. Las últimas columnas representan los valores p de acuerdo al análisis de la varianza considerando el efecto del ambiente inicial y de la fertilización nitrogenada.

Corte	Producción de forraje (kg MS ha ⁻¹)							Análisis de la varianza		
	Ambiente			Fertilización (KgN.ha ⁻¹)				Ambiente	Fertilización (KgN.ha ⁻¹)	A*F
	1	2	3	0	50	100	150	Valores p		
5-may	1902B	2438B	3278A	-	-	-	-	0,0242*	-	-
28-jul	14947B	2370A	2930A	1984	2071	2480	2524	0,0167*	0,2738	0,3924
6-oct	1771	1904	2376	1674B	1906B	2022B	2465A	0,1289	0,0020**	0,1620
29-nov	1149	1273	1232	1085	1312	1283	1191	0,6500	0,3156	0,5691
Total	6318C	7985B	9817A	7284B	7830AB	8325A	8720A	0,0017	0,026	0,33

Se hallaron efectos significativos del ambiente y de la fertilización que fueron diferentes según el período, es decir con una dinámica estacional diferente (Tabla 2). Al inicio del ensayo, fue significativo el efecto del ambiente inicial, mientras que el efecto de la fertilización nitrogenada se manifestó más avanzado el ensayo. Finalmente, en el último corte desaparecieron ambos efectos. El primer corte del 5/5/21, se observaron diferencias significativas entre los diferentes ambientes ($p < 0,05$), en esta época no se habían aplicado aun los tratamientos nitrogenados. Se puede observar que el ambiente 3 la producción fue mayor que los otros ambientes; un 72% superior respecto al ambiente 1 y un 34% respecto al ambiente 2. Las diferencias entre el ambiente 1 y 2 no fueron significativas. El siguiente corte se realizó el 28/7/21, fue el primer corte luego de la fertilización nitrogenada del 26/5/21, por lo que a partir de este corte se comenzó a evaluar el efecto de ambos factores (ambiente y fertilización nitrogenada). Se observó que las diferencias significativas en el corte estuvieron dadas por el ambiente ($p < 0,05$), y no se observaron diferencias significativas por la fertilización ($p > 0,05$). Entre los ambientes 2 y 3 no tuvieron diferencias significativas, si existieron diferencias respecto al ambiente 1. El ambiente 3 el rendimiento de materia seca fue un +96%% respecto al ambiente 1, mientras que el ambiente 2 el rendimiento fue un +58% superior respecto al ambiente 1. El siguiente corte se realizó el 6/10/21, en este corte desaparecieron las diferencias significativas entre los diferentes ambientes ($p > 0,05$), sin embargo, se hallaron diferencias significativas entre las diferentes dosis de fertilización nitrogenada ($p < 0,05$). La dosis de 150 kg N/ha se diferenció del resto. El tratamiento con la dosis de 150 kg N/ha rindió un 47% más que el testigo (dosis 0), en comparación con la dosis 50 kg de N/ha rindió un 29% más y con respecto a la fertilización con 100 kg de N/ha rindió un 22% más. Por último, en el corte del 29/11/21, no se hallaron efectos del ambiente ni de la fertilización nitrogenada.

3.2 Intercepción de la radiación promedio

El efecto significativo del ambiente inicial y de la fertilización nitrogenada sobre el porcentaje de intercepción de la radiación promedio se observaron tempranamente en el primer periodo estudiado (mayo- julio) (Tabla 3), y continuó en el segundo periodo (julio - octubre).

En el periodo mayo - julio, el ambiente promovió la intercepción de la radiación ($p:0.0003$), el A3 obtuvo la mayor intercepción (+66%) respecto el testigo y el A2 también mayor respecto del testigo (+40%). En el periodo mayo- julio la fertilización nitrogenada promovió la intercepción de la radiación siendo el efecto significativo ($p:0,0061$), la mayor intercepción de la radiación se obtuvo con el tratamiento N150 y N100 los cuales no tuvieron diferencias significativas, con los cuales se pudo captar un +17% respecto N0, luego lo sucede el N50 (+13) respecto ambos al tratamiento testigo N0.

En el periodo julio – octubre el ambiente promovió la intercepción de la radiación ($p: 0,0048$), el A3 obtuvo la mayor intercepción (+27%) respecto el ambiente testigo y el A2 un (+6%) respecto el testigo. En este periodo la fertilización nitrogenada continuó promoviendo la intercepción de la radiación (0.0001) la mayor intercepción de la radiación se obtuvo con el tratamiento N150, con el cual se pudo captar un (+31%) respecto N0, luego lo sucede el tratamiento N100 (+25%) y el N50 (+11%) respecto ambos al tratamiento N0.

En el tercer periodo (octubre- noviembre) si bien los resultados del efecto del ambiente sobre la intercepción de la radiación evidenciaron resultados significativos, no favorecieron el aumento de la intercepción de la radiación, todo lo contrario, se observó una disminución, en este periodo desapareció el efecto de la fertilización nitrogenada, no hubo efecto de la interacción ambiente inicial*fertilización (Tabla 3).

El periodo octubre – noviembre se observaron diferencias significativas en el porcentaje de intercepción de la radiación entre los diferentes ambientes ($p: 0,0048$), pero en este

periodo el ambiente no promovió la intercepción de la radiación, todo lo contrario, tuvo un efecto negativo, el A1 obtuvo la mayor intercepción (+60%) respecto el A3 que obtuvo menor porcentaje de intercepción de la radiación, el A2 supero al A3 (+17%).

Tabla 3. Porcentaje de intercepción de la radiación promedio según el tratamiento del ambiente inicial y la fertilización. Las últimas columnas representan los valores p de acuerdo al análisis de la varianza considerando el efecto del ambiente inicial y de la fertilización nitrogenada.

	Intercepción de la radiación (%)							Análisis de la varianza		
	Ambiente			Fertilización (KgN.ha ⁻¹)				Ambiente	Fertilización	A*F
Período	1	2	3	0	50	100	150	Valores p		
mayo-julio	48C	67B	80A	58B	66A	68A	68A	0,000**	0,0061**	0,713
julio-octubre	52B	55B	66A	50B	55B	62A	65A	0,0048**	0,0001**	0,052
octubre-noviembre	27A	20B	17B	20	21	21	24	0,0048**	0,61	0,74

3.3 Evolución de la intercepción de la radiación

En la Figura 1 se presentan a modo descriptivo los efectos del ambiente inicial sobre la evolución de intercepción de la radiación en los tres períodos evaluados.

Durante el periodo 1 (Figura 1.A), se evidencia que los ambientes iniciales con mayor contenido de nutrientes, específicamente nitrógeno (N) y fósforo (P), muestran una capacidad superior para interceptar la radiación desde el inicio del período, en el orden A3 > A2 > A1. En el segundo período (Figura 1.B), se destaca nuevamente la superioridad del ambiente A3, que se diferencia claramente de los ambientes A2 y A1 en términos de porcentaje de radiación interceptada. Sin embargo, se observa una intercepción decreciente en todos los tratamientos, relacionado con el secamiento del

suelo por la falta de lluvias y su impacto negativo sobre la producción de la festuca. Finalmente, en el periodo 3 (Figura 1.C) todos los ambientes presentaron muy baja interceptación, sin grandes modificaciones a lo largo de todo el período ($\approx 20\%$), determinado por las condiciones de sequía mencionadas. Estos resultados resaltan la influencia significativa del contenido de nutrientes del ambiente en la capacidad de interceptación de la radiación a lo largo de los distintos periodos analizados, aunque los efectos se van diluyendo y van siendo afectados por las condiciones ambientales predominantes.

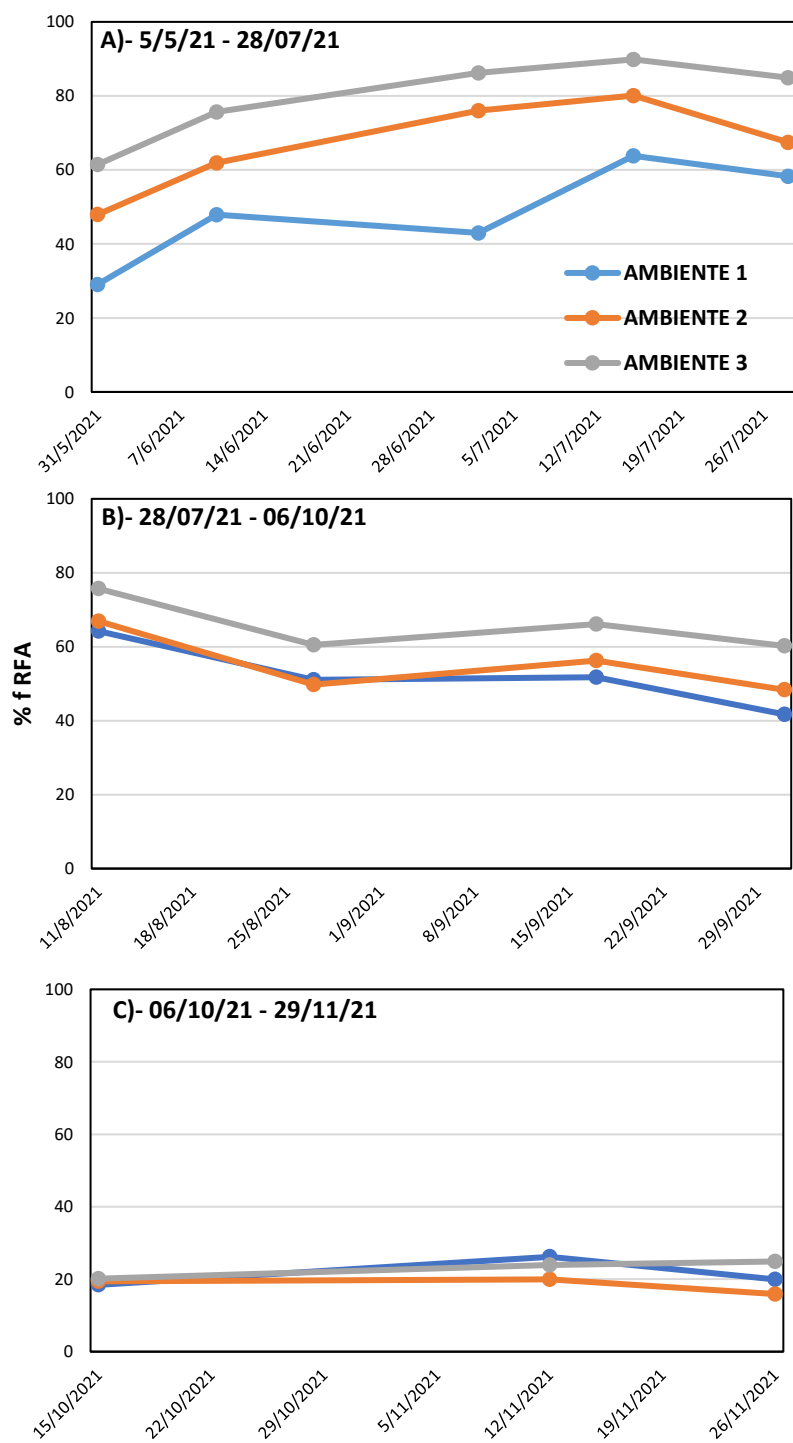


Figura 1. Porcentaje de intercepción de radiación fotosintéticamente activa (% f RFA) según el ambiente inicial para 3 períodos de evaluación: A)- 05/05/21 al 28/07/21, B)- 28/07/21 al 06/10/21, y C)- 06/10/21 al 29/11/21. Promedio de 3 bloques.

En la figura 2 se presentan los efectos de la fertilización nitrogenada sobre la interceptación de la radiación en los tres periodos evaluados. Durante el periodo 1 (Figura 2.A) se evidencia que los tratamientos con fertilización nitrogenada muestran una capacidad superior para interceptar la radiación respecto el testigo, en el siguiente orden ($N_{150} = N_{100} = N_{50}$) > N_0 . En el segundo periodo (Figura 2.B) continuó la superioridad de la fertilización nitrogenada los tratamientos N_{150} y N_{100} , que se diferenciaron del N_{50} y del testigo. Por último, en el tercer periodo (Figura 2.C) no se observaron cambios notables, desaparecen las diferencias significativas en la interceptación de la radiación dadas por los tratamientos nitrogenados.

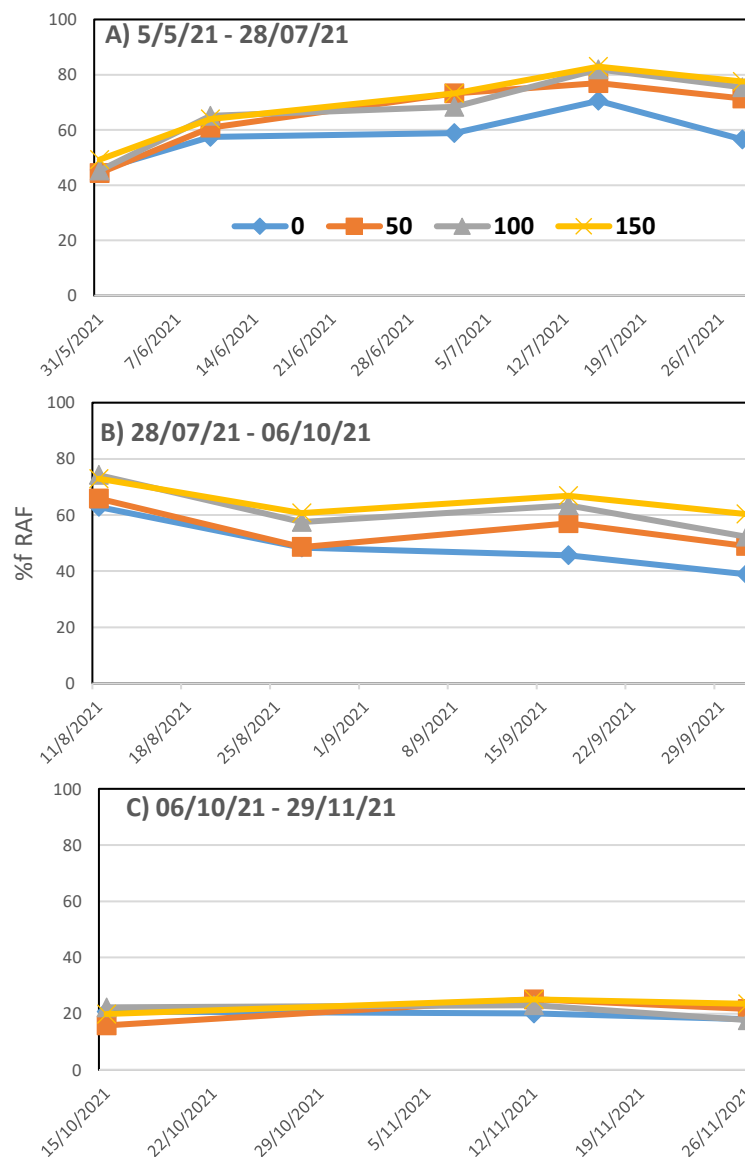


Figura 2. Porcentaje de intercepción de radiación fotosintéticamente activa (% f RFA) según la fertilización nitrogenada (Dosis; kg N ha⁻¹) para 3 períodos de evaluación: A)- 05/05/21 al 28/07/21, B)- 28/07/21 al 06/10/21, y C)- 06/10/21 al 29/11/21. Promedio de 3 bloques.

3.4 Cobertura

De acuerdo al análisis de varianza se encontraron efectos significativos del ambiente inicial y la fertilización sobre la cobertura (Tabla 4).

Sin embargo, el efecto significativo del ambiente inicial y la fertilización nitrogenada varió según el periodo de las mediciones, con una dinámica estacional diferente (Tabla 4). Los patrones detectados en la cobertura fueron levemente diferentes a los descritos por la producción de materia seca. Para el periodo otoño-invierno, comprendido entre el corte del 05 de mayo y el corte del 28 de julio se observaron diferencias significativas en la cobertura dadas por el efecto del ambiente inicial (valor $p=0.021$) y de la fertilización nitrogenada (valor $p=0.0031$), aunque no se observaron diferencias significativas en la cobertura dadas por la interacción entre ambos factores. En el ambiente 3 se obtuvo una cobertura superior respecto al testigo de (+28) la cual fue la mayor cobertura, en el ambiente 2 logro obtener una mayor cobertura (+20%) respecto al ambiente 1. En cuanto a la fertilización nitrogenada, se lograron incrementos de (+12%) N150, (+9%) N100 y (+5%) N50 en la cobertura respecto del testigo.

Tabla 4. Porcentaje de cobertura según el tratamiento del ambiente inicial y la fertilización. Las últimas columnas representan los valores p de acuerdo al análisis de la varianza considerando el efecto del ambiente inicial y de la fertilización nitrogenada.

	Cobertura (%)							Análisis de varianza		
	Ambiente			Fertilización (KgN.ha ⁻¹)				Ambiente	Fertilización (KgN.ha ⁻¹)	A*F
Periodo	1	2	3	0	50	100	150	Valores p		
mayo-julio	61,1C	73,5B	78,3A	66,7C	70,0BC	72,8AB	74,4A	0,021*	0,0031**	0,216
julio-octubre	57,0	63,6	61,3	52,4C	59,1B	64,5AB	66,6A	0,179	0,0003**	0,0125*
octubre-noviembre	26,2	27,8	26,9	26,8	27,4	27,8	29,9	0,64	0,41	0,95

En el siguiente periodo, de invierno - primavera temprana (comprendido entre el 28 julio y el 6 de octubre) desaparecieron las diferencias significativas en la cobertura por los efectos del ambiente inicial (valor p:0.179) y perduran los efectos de la fertilización nitrogenada (valor p:0.0003), aunque en este periodo hubo interacción significativa entre ambos factores (valor p:0.0125). En el ambiente 1 y 2 la interacción A*F nitrogenada tuvo un efecto positivo, al aumentar la dosis de nitrógeno aumenta el porcentaje de cobertura, en el ambiente 1 N150 > N100 > N50 > N0, en el ambiente 2 N150 = N100 > N50 > N0, en el ambiente 3 este efecto desaparece y no se observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos nitrogenados, en la Figura 3 podemos observar este efecto. En el ambiente 2 el tratamiento N150 tuvo mayor % de cobertura (+28%) respecto al N0, lo sucede N100 (+23%) y luego el N50 (+12%) respecto el testigo. El ambiente 1 el tratamiento con mayor porcentaje de cobertura fue el N150 el cual obtuvo una cobertura mayor (+72%) respecto el N0, lo sucede N100 (+60%) y N50 (+38.7%) respecto N0.

En el periodo octubre-noviembre, desaparecieron las diferencias en la cobertura dadas por el ambiente inicial, por la fertilización nitrogenada y su interacción (p > 0.05).

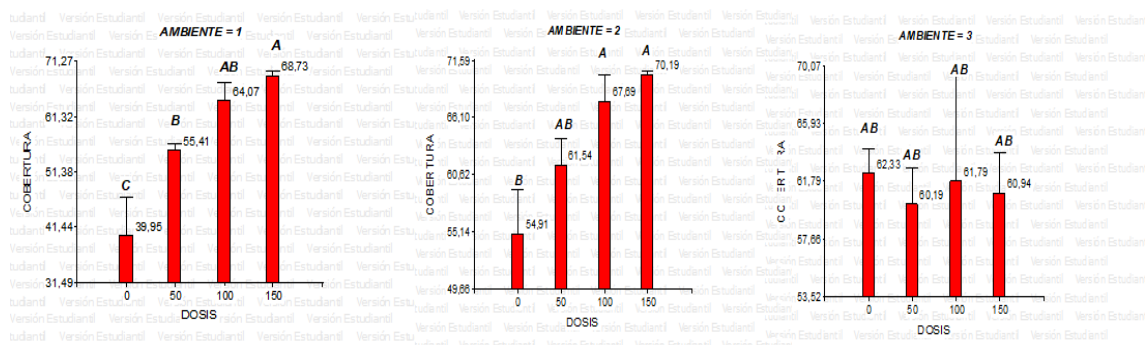


Figura 3. Porcentaje de cobertura según la fertilización nitrogenada (Dosis; kg N ha⁻¹) separado para cada ambiente en el período del 28 de julio al 06 de octubre donde la interacción A*F fue significativa ($p < 0.05$). Promedio de 3 bloques.

3.5 Evolución de la cobertura

En la Figura 4 se presentan los efectos del ambiente sobre la cobertura en los tres periodos evaluados.

Durante el periodo 1 (Figura 4.A) se evidencia al igual que el ambiente con mayor contenido de nutrientes, específicamente nitrógeno (N) y fósforo (P), muestra mayor cobertura en el orden $A3 > A2 > A1$.

En el segundo periodo (Figura 4.B) y tercer periodo (Figura 4.C), se puede observar en los gráficos como desaparecen las diferencias significativas en la cobertura dadas por el ambiente.

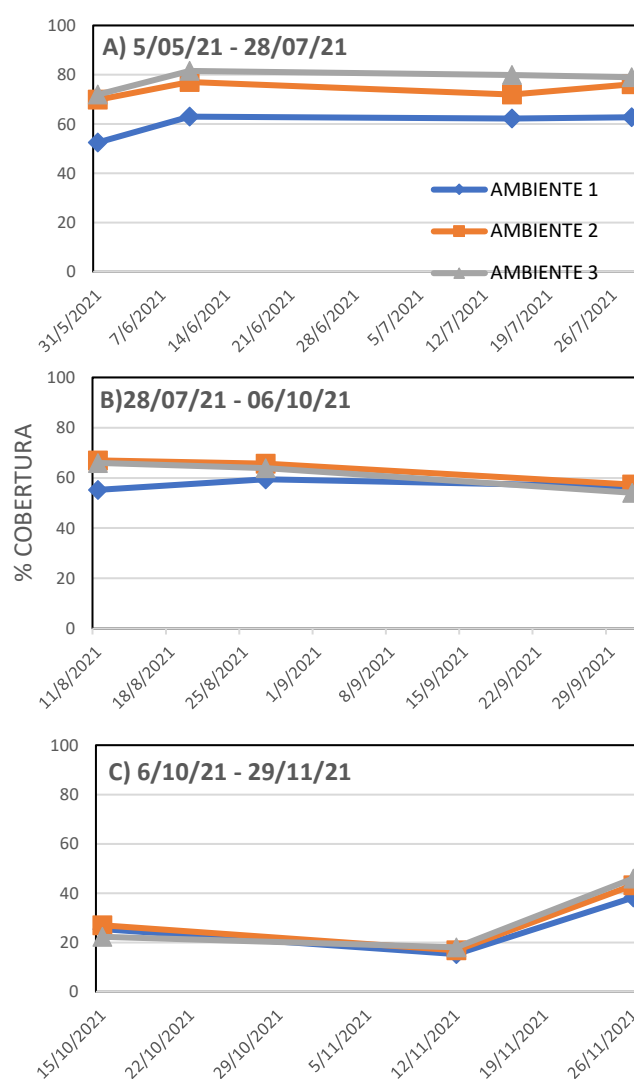


Figura 4. Porcentaje de cobertura según el ambiente inicial para 3 períodos de evaluación: A)- 05/05/21 al 28/07/21, B)-. 28/07/21 al 06/10/21, y C)- 06/10/21 al 29/11/21. Promedio de 3 bloques.

En la Figura 5 se presentan los efectos de la fertilización nitrogenada sobre la cobertura vegetal en tres periodos evaluados, durante el primer y segundo período (Figuras 5.A y 5.B, respectivamente) se evidencia que los tratamientos con mayor contenido de nitrógeno muestran un mayor porcentaje de cobertura vegetal respecto al testigo en el

orden $N150 > N100 > N50 > N0$. En el tercer periodo (Figura 5.C) estas diferencias significativas dadas por los tratamientos nitrogenados en la cobertura desaparecen.

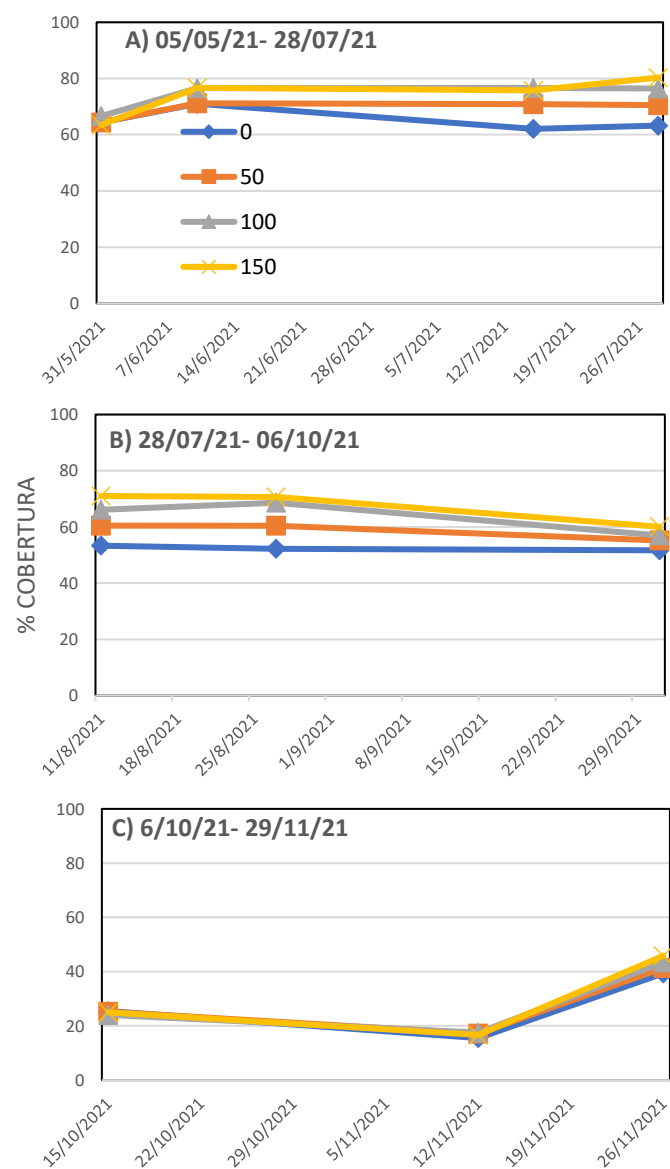


Figura 5. Porcentaje de cobertura según la fertilización nitrogenada (Dosis; kg N ha⁻¹) para 3 periodo evaluados: A)- 05/05/21 al 28/07/21, B)-. 28/07/21 al 06/10/21, y C)- 06/10/21 al 29/11/21. Promedio de 3 bloques.

3.6 Contenido de nitrógeno

El contenido de nitrógeno foliar se estudió en dos de los cortes de evaluación (28/7/21 y 6/10/21). De acuerdo a los análisis de varianza se encontraron efectos significativos del ambiente inicial y la fertilización nitrogenada en los contenidos de nitrógeno en hoja, la interacción entre ambas no fue significativa para ninguna de las fechas estudiadas ($p > 0.05$) (Tabla 5). En el corte 28/7/21 se observaron diferencias significativas en el contenido de nitrógeno en hoja dadas por el ambiente ($p < 0.05$) (Figura 6), el ambiente inicial 3 obtuvo los mejores resultados, siendo superior respecto al ambiente 1 (+54%) y respecto al ambiente 2 (+29%). Así también el ambiente 2 fue mayor que el ambiente 1 (+20%). En el corte del 06 de octubre continuaron las diferencias significativas dadas por el ambiente inicial en el contenido de nitrógeno en hoja ($p < 0.05$), si bien se observó una baja en la concentración en todos los ambientes, el ambiente inicial 3 mantuvo la mayor concentración respecto al resto de los ambientes, fue superior respecto al ambiente 1 (+29%) y respecto al ambiente 2 (+13%). Así también el ambiente 2 superó al ambiente 1 (+14%).

Tabla 5. Valores P de acuerdo al análisis de la varianza considerando el efecto del ambiente inicial nitro-fosforado, de la fertilización nitrogenada y de la interacción entre ambos factores.

Contenido de nitrógeno	Análisis de la varianza		
	Valores p		
g N.kg ⁻¹	Ambiente inicial	Fertilización	A*F
28-jul	0,0009**	0,0001**	0,4126
6-oct	0,0016**	0,0022**	0,1793

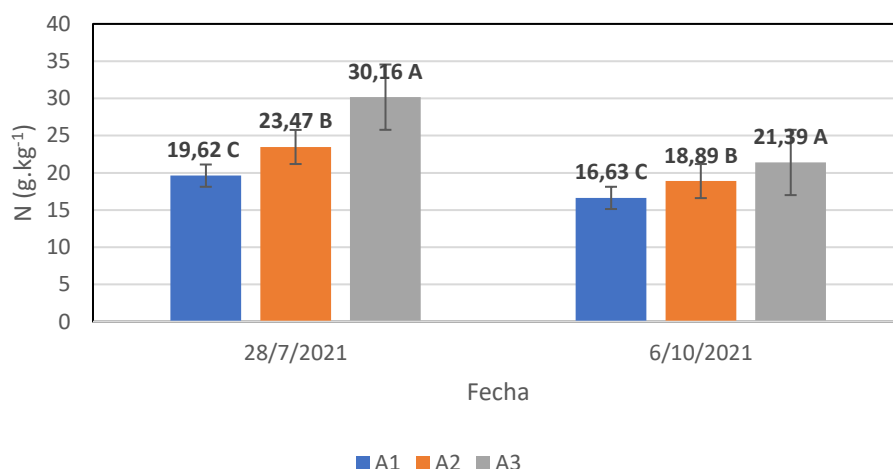


Figura 6. Contenido de nitrógeno en hojas (N g.kg⁻¹) según el ambiente inicial de fertilización nitrógeno-y fósforo. Promedio de 3 bloques $\pm$ ES.

En el corte del 28 de julio se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el contenido de nitrógeno en hoja dadas por la fertilización nitrogenada, a mayor dosis mayor concentración de nitrógeno en hoja, la N150 fue la que mayor concentración de nitrógeno logró; +55,3% superior respecto a N0, +26% superior respecto a N50 y no difirió significativamente con respecto a N100 (Figura 7). Las dosis intermedias (N100 y N50) no difirieron entre sí, pero fueron mayores a N0. En el corte de octubre permanecieron las diferencias significativas dadas por la fertilización en el contenido de nitrógeno en hoja ($p < 0.05$), en este corte N100 y N150 obtuvieron el mayor contenido de nitrógeno en hoja, superiores a los tratamientos N50 y N0.

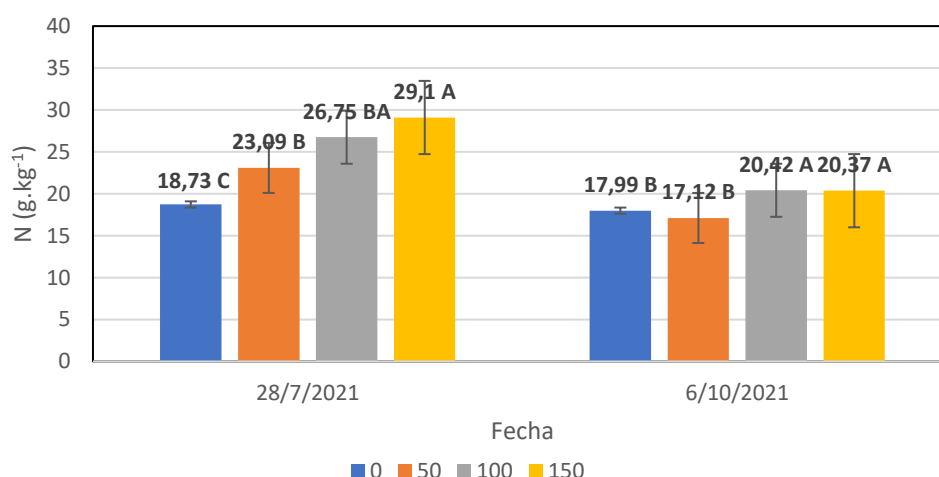


Figura 7. Contenido de nitrógeno en hojas (N g.kg^{-1}) según la fertilización nitrogenada (Dosis; kg N ha^{-1}). Promedio de 3 bloques $\pm$ ES.

3.7 Índice de nutrición nitrogenada

Al analizar el índice de nutrición nitrogenada (INN) se comporta con un patrón similar que el contenido de nitrógeno, los efectos del ambiente y la fertilización se pueden observar en los dos periodos evaluados sin observar interacciones significativas entre ambos ($p > 0.05$; Tabla 6). Al mejorar el ambiente inicial y con las dosis de fertilización nitrogenada los déficits de nitrógeno son menores, esto implica que el valor de INN es más cercano del valor 1 (Figuras 8 y 9).

Tabla 6. Valores P de acuerdo al análisis de la varianza considerando el efecto del ambiente inicial nitro-fosforado, de la fertilización nitrogenada y de la interacción entre ambos factores.

INN	Análisis de la varianza		
	Valores p		
	Ambiente inicial	Fertilización	A*F
28/7/2021	0,0312*	0,0004**	0,84
6/10/2021	0,0042*	0,0001**	0,55

En el caso del ambiente inicial, en el corte del 28 de julio se diferencia el ambiente 3 del 1, mientras que en el corte de octubre los tres ambientes difieren entre sí, aumentando a medida que mejora el ambiente inicial. El efecto de la fertilización nitrogenada, en ambos cortes, las dosis más elevadas (100N y 150 N) presentan INN mayores que las dosis más bajas (0N y 50N).

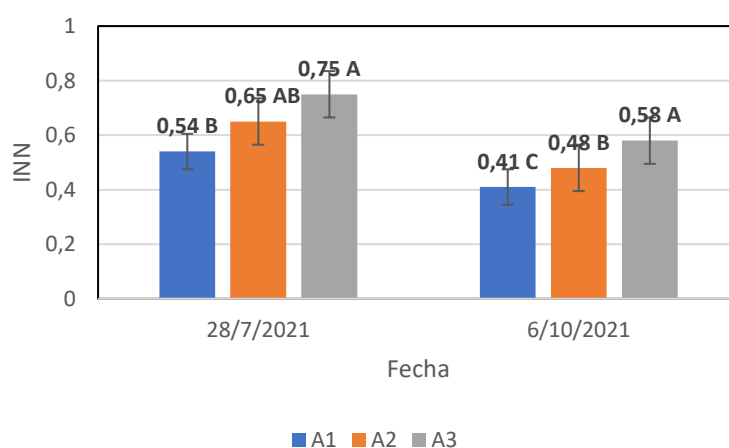


Figura 8. Valores de INN según el ambiente inicial de fertilización nitrógeno y -fosforo. Promedio de 3 bloques $\pm$ ES.

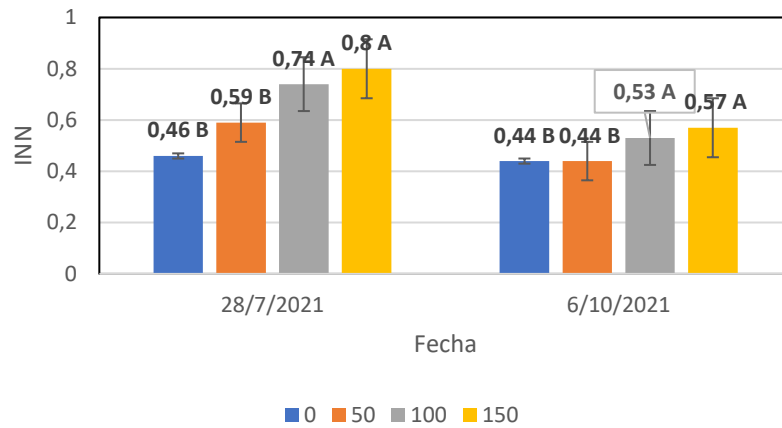


Figura 9. Valores de INN según la fertilización nitrogenada (Dosis; kg N ha⁻¹). Promedio de 3 bloques $\pm$ ES.

3.8 Relaciones entre las variables estudiadas

Los resultados de correlación para el corte de julio fueron significativos con una correlación positiva (Tabla 7). Las correlaciones de la variable producción de materia seca respecto las variables contenido de N, f RFA, y cobertura resultaron moderadas (coeficiente r entre 0,5 y 0,7). Las correlaciones de las variables cobertura, contenido de N y f RFA resultaron altas (coeficiente $r > 0,7$).

Tabla 7. Coeficientes de correlación lineal de Pearson y valores p entre las variables contenido de N (%), f RFA (%), cobertura (%) y producción de forraje (KgMS ha⁻¹). Valores para el corte del 28/07/21.

28/7/2021		Contenido de N	f RFA	Cobertura	Producción de forraje
Producción de forraje	p	**	**	**	
	r	0,59	0,59	0,59	1
Cobertura	p	**	**		
	r	0,79	0,78	1	
f RFA	p	**	s		
	r	0,78	1		
Contenido de N	p				
	r	1			

r: coeficiente de correlación de Pearson. NS: P > 0,05 no significativo, *: P < 0,05 y **: P < 0,01.

Si bien los resultados de correlación para el rebrote del mes de octubre se observaron correlaciones positivas como en el mes de julio, los coeficientes de correlación fueron de menor magnitud y en algunos casos sin llegar a ser significativos. La variable producción de forraje se correlacionó con valores altos con la f RFA y moderados con el contenido de N y la cobertura. Del resto de las variables sólo se correlacionó en forma moderada la f RFA con el contenido de N.

Tabla 8. Coeficientes de correlación lineal de Pearson y valores p entre las variables contenido de N (%), f RFA (%), cobertura (%) y producción de forraje (KgMS ha⁻¹). Valores para el corte del 06/10/21.

6/10/2021		Contenido de N	f RFA	Cobertura	Producción de forraje
Producción de forraje	p	*	**	*	
	r	0,4	0,81	0,34	1
Cobertura	p	NS	NS		
	r		0,3	1	
f RFA	p	**			
	r	0,5	1		
Contenido de N	p				
	r	1			

r: coeficiente de correlación de Pearson. NS: $P > 0,05$ no significativo, *: $P < 0,05$ y **: $P < 0,01$.

4. DISCUSIÓN

4.1 Producción de forraje

Los resultados indican que la producción de forraje de festuca alta está fuertemente influenciada por el contenido de nitrógeno y la fertilidad del ambiente. Para la festuca alta, se hallaron efectos positivos tanto del ambiente inicial como de la fertilización nitrogenada. En términos generales, la respuesta de la producción al ambiente inicial fue más temprana y de mayor magnitud que la fertilización nitrogenada posterior. Esta respuesta diferencial parece tener que ver con el momento del año en el que se produce la fertilización con N, con menores temperaturas, que pueden haber restringido el aprovechamiento del nitrógeno para las plantas, así como también un efecto progresivo del secado del perfil del suelo, dadas las menores precipitaciones durante todo el período. Los efectos positivos desaparecen hacia la primavera tardía, en la medida que se alejan temporalmente de la aplicación de los fertilizantes. En el norte de Buenos Aires, ya se habían registrado respuestas positivas a la fertilización nitrogenada en el otoño tanto en la localidad de Pergamino (Scheneiter et al., 2011) como en la localidad de General Villegas (Sardiña et al., 2011). En este sentido, los resultados del presente trabajo fueron ligeramente superiores a los encontrados por Marino y Agnusdei (2007) en pasturas de festuca alta en Balcarce.

En el caso de la fertilización nitrogenada no se hallaron diferencias entre la dosis de 100N y 150N. Esto puede sugerir que las plantas ya se hallaban alcanzando su potencial máximo de producción en el otoño avanzado, según la disponibilidad de nutrientes, limitando el impacto adicional de la urea. Esta información puede ser valiosa para la planificación agronómica, ya que indica que en esta estación dosis muy elevadas nitrogenadas podrían no ser tan necesarias. Este resultado coincide con lo reportado por Sardiña et al. (2011) que encuentran una menor eficiencia agronómica (kg MS forraje

kg N aplicado⁻¹) en otoño en las dosis más elevadas (N150) en comparación con la dosis intermedia (N75), sugiriendo una menor respuesta con dosis elevadas.

4.2 Intercepción de la radiación

La intercepción de la radiación por parte de la pastura es crucial para la fotosíntesis y, por ende, para la producción de forraje (Mattera et al., 2013). Los resultados muestran que la mejora en el ambiente nutricional tanto del ambiente inicial, como de la fertilización nitrogenada en menor magnitud, se traduce en un aumento de la intercepción de la radiación, durante el otoño - invierno. Este resultado es coincidente con los antecedentes en festuca que señalan una mayor intercepción de la radiación en pasturas fertilizadas (Belanger et al., 1992; Ojeda et al., 2018). Sin embargo, ninguno de estos trabajos se focalizó en el otoño-invierno como se realizó en este estudio. En el caso de Belanger fue estudiado en primavera-verano, mientras que Ojeda estudió la radiación total anual interceptada. Este hallazgo destaca la importancia de manejar adecuadamente la fertilización y la cubierta vegetal para maximizar la captación de la luz solar. Sin embargo, en primavera, se observa que los efectos de la fertilización y el ambiente sobre la intercepción de la radiación disminuyen, lo que podría señalar la necesidad de volver a fertilizar en esta estación, práctica habitual y recomendada para este tipo de pasturas (Scheneiter et al., 2011).

4.3 Cobertura

La cobertura estimada mediante una aplicación de celular de libre acceso podría ser una herramienta útil para caracterizar el estado de una pastura, tanto de forrajeras gramíneas como leguminosas (Jauregui et al., 2019). Si bien los autores antes

mencionados, lo evaluaron en gramíneas, se trató de gramíneas anuales, por lo que estudio aporta información novedosa del uso de esta app en festuca alta.

En este estudio se demostró que una mejor nutrición de las plantas tiene un efecto positivo sobre el porcentaje de cobertura, sin embargo, fueron de menor magnitud que para la producción de forraje y la interceptación. Adicionalmente, en el rebrote invernal se halló interacción entre el ambiente inicial y la fertilización con N, con mayor respuesta en suelo con niveles medios y bajos de nutrientes. Lo que sugiere que el sistema de raíces y el crecimiento de la planta en los ambientes más fértiles pueden estar limitados por otros factores, por ejemplo, una mayor competencia intraespecífica debido a plantas de mayor tamaño en un contexto de sequía progresiva. Los resultados diferentes hallados en la cobertura en comparación con las variables de producción e interceptación pueden deberse a que en este caso la aplicación mide solamente el material verde vivo, no el senescente (Jauregui et al., 2019), a diferencia de las otras variables que incluye toda la biomasa.

4.4 Contenido de nitrógeno

Los niveles de N en la hoja reflejan el estado nutricional de las pasturas y se relaciona directamente con el atributo de la calidad del forraje la proteína bruta. Se observó que ambos factores, ambiente inicial y fertilización nitrogenada afectaron positivamente el contenido de nitrógeno en hojas. El mismo fue superior en otoño–invierno en comparación con primavera tardía, lo cual puede relacionarse con la ralentización de los procesos de crecimiento durante el invierno y una mayor concentración del N foliar, como también un efecto directo más importante que un efecto residual de la fertilización con N, es decir más cerca de la fecha de aplicación del fertilizante, impacta en mayor medida sobre el contenido de nitrógeno. De todas formas, los valores hallados se

encuentran dentro del rango reportado para festuca alta en otoño en el sur de provincia de Buenos Aires (Balcarce: de 15 a 35 g N.kg⁻¹) (Errecart et al., 2012).

4.5 Índice de nutrición nitrogenada (INN)

El INN sirve como una medida integradora de la respuesta de la planta a la disponibilidad de nitrógeno que permite monitorear el estado nutricional de las pasturas (Lemaire and Gastal, 2009). Los resultados indican que las plantas de festuca alta respondieron positivamente en su estado nutricional del INN tanto al ambiente inicial como a la fertilización nitrogenada, mostrando mejores índices en el otoño–invierno dada la cercanía a la fecha en que se realizó la aplicación del fertilizante. De todas formas, los valores alcanzados no llegaron a la unidad, que indicaría el nitrógeno crítico, en el cual la planta se halla en condiciones de suficiencia. Si bien las dosis fueron relativamente elevadas, de acuerdo al trabajo de Errecart et al. (2014) el nitrógeno crítico fue desarrollado para condiciones sin limitación hídrica. En el caso de condiciones de estrés hídrico, el nitrógeno crítico es menor, y se modifica en relación con la intensidad del estrés. De acuerdo a este antecedente, es esperable que las condiciones de sequía creciente hayan disminuido el nitrógeno crítico. Al disminuir dicho nitrógeno aumentará el INN, acercándose a valores de mayor suficiencia del nutriente.

4.6 Relaciones entre variables

Si bien se han hallado relaciones entre las variables estudiadas, las mismas han sido variables entre rebrotes. Si bien se proponía estudiar la hipótesis del uso de la cobertura medida mediante una aplicación de celular como estimador de la intercepción de la radiación, su aplicabilidad sería limitada dada la estacionalidad en la respuesta, altos valores en el corte de julio y menores en el corte de octubre. Estos resultados difieren

de lo hallado por Jauregui et al. (2019) que alcanzó valores más elevados de ajuste entre cobertura y f RFA ($r^2 = 0.83$). Una posible explicación es que en el actual estudio se dieron condiciones de sequía creciente que impacta sobre la senescencia de hojas, y ambas variables sensan diferente la misma; la f RFA la considera mientras que la cobertura no. Es de interés continuar con estas relaciones en mayor diversidad de condiciones.

5. CONCLUSIÓN

En general, los hallazgos de este estudio subrayan la importancia de optimizar las prácticas que afectan la nutrición de las pasturas de festuca alta para mejorar la producción de forraje acorde con la estrategia productiva. Los resultados sugieren que fertilidad del suelo impactan positivamente sobre las variables productivas del otoño-invierno, estación crítica en los sistemas ganaderos de la región dado el bache en la producción de forraje. La comprensión de estos factores es de relevancia para el manejo sostenible de pasturas y el desarrollo de prácticas agrícolas que maximicen la productividad sin comprometer la salud del ecosistema.

Los ambientes iniciales con mejores niveles nutricionales de fósforo y nitrógeno lograron una mayor producción de forraje con una mejor calidad dada por un mayor contenido de nitrógeno en la planta (proteína bruta). La fertilización nitrogenada posterior influye positivamente en la producción y calidad del forraje independientemente del ambiente inicial. Es decir, los efectos son aditivos, lo cual es positivo, en el sentido que permite sumar efectos positivos para incrementar la producción forrajera de los sistemas productivos. El contenido de nitrógeno y el INN permitió confirmar el impacto sobre el estatus nutricional de las pasturas debido a la mejora en las condiciones de crecimiento por las prácticas de manejo propuestas.

La anticipación en la mejora nutricional de las pasturas de festuca alta tiene un mayor impacto en las variables productivas por condiciones ambientales más favorables para el crecimiento de la especie; mayor efecto del ambiente inicial que de la fertilización nitrogenada posterior. Por otra parte, los efectos de la mejora de la nutrición de las pasturas se manifiestan con mayor impacto en el corte cercano a la aplicación de los fertilizantes, lo que determina una dinámica estacional diferente. Estos resultados, pueden servir al momento de la planificación forrajera como herramientas para el armado de una estrategia productiva según los requerimientos de forraje.

La cobertura de la festuca alta responde positivamente a la fertilización nitrogenada en ambientes con bajos y medios contenidos de nutrientes nitro-fosforados (interacción significativa). Las relaciones funcionales entre variables, si bien en muchos casos significativas, presentaron variación estacional, por lo que no se llegó a establecer patrones claros.

Las condiciones de sequía creciente impactaron fuertemente la evolución de los tratamientos, por esta razón sería de interés repetir la experiencia en años diversos para considerar la variabilidad interanual.

6. BIBLIOGRAFIA

- Agnusdei, M. G.; Marino, A.; Insúa, J. 2013. The role of ecophysiology in the design of specialized pasture managements. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 21(1).
- Agnusdei, M.G.; Di Marco, O.N.; Marino, A.; Errecart, P.; Insúa, J. 2010. Festuca alta: Una mirada ecofisiológica para entender y manejar la producción, calidad y eficiencia de utilización del forraje. XII Reunión Anual sobre Forrajeras "Pasturas base Festuca: Producción y Manejo. INTA. EEA Pergamino "Ing. Agr. Walter Kugler. Pergamino, 3 de noviembre de 2010 pp. 1-18.
- Bélanger, G., Gastal, F., Lemaire, G. 1992. Growth analysis of a tall fescue sward fertilized with different rates of nitrogen. *Crop Science*, 32(6), 1371-1376.
- Cattoni, M. I., Rimieri, P., Schrauf, G. E., & Ríos, R. D. 2010. Variabilidad genética en parámetros de calidad en germoplasma contrastante de festuca alta [Festuca arundinacea Schreb.].
- Chapman, D. F., & Lemaire, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation.
- Chapman, D. y Lemaire, G. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. En: Hodgson J, Illius AW. [Eds.]. *The Ecology and Management of Grazing Systems*. Wallingford: CAB International pp. 3-35.
- Durand, J. L., Varlet-Grancher, C., Lemaire, G., Gastal, F., & Moulia, B. (1991). Carbon partitioning in forage crops. *Acta biotheoretica*, 39(3-4), 213-224.
- Errecart, P.M., Agnusdei, M.G., Lattanzi, F.A., Marino, M.A. 2012. Leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings as predictors of tall fescue nitrogen nutrition status. *Field Crops Research*, 129, 46-58.
- Errecart, P.M., Agnusdei, M.G., Lattanzi, F.A., Marino, M.A., Berone, G.D. 2014. Critical nitrogen concentration declines with soil water availability in tall fescue. *Crop Science*, 54(1), 318-330.

- Forster, J.; Jones, E.; Kolliker, R.; Drayton, M. 2001. Development and implementation of molecular markers for forage crop improvement. In: Molecular breeding of forage crops. (ed. G. Spangenberg). Kluwer Academic Publishers. pp.101-133
- Gifford, R. M., Thorne, J. H., Hitz, W. D., & Giaquinta, R. T. 1984. Crop productivity and photoassimilate partitioning. *Science*, 225(4664), 801-808.
- Gillet, M., Lemaire, G., & Gosse, G. 1984. Essai d'élaboration d'un schéma global de la croissance des graminées fourragères. *Agronomie*, 4(1), 75-82.
- Jauregui, J.M., Delbino, F.G., Bonvini, M.I.B., Berhongaray, G. 2019. Determining yield of forage crops using the Canopeo mobile phone app. *Journal of New Zealand Grasslands*, 81, 41-46.
- Lattanzi, F.A. 1998. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento de la festuca de tipo templado y mediterráneo. Tesis M Sc. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Mar del Plata. Balcarce, Argentina.
- Lemaire, G. y Gastal, F. 1997. N uptake and distribution in plant canopies. En: Lemaire, G. (ed.) *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Springer. Verlag: Berlin.
- Lemaire, G. y Gastal, F. 2009. Capítulo 8. Cuantificación de las respuestas de los cultivos a la deficiencia de nitrógeno y vías para mejorar la eficiencia en el uso del nitrógeno. En: *Fisiología de cultivos*. Sadras V. and Calderini D (Eds). pp. 171-211. ISBN 9780123744319, Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-374431-9.00008-6>.
- Lemaire, G. y Salette, J. 1982. The effects of temperature and fertilizer nitrogen on the spring growth of tall fescue and cocksfoot. *Grass and Forage Science* 3 pp. 7, 191-198.
- Maddaloni, J. y Ferrari, L. 2001. Festuca alta. En: Maddaloni, J. y Ferrari, L. (Eds) *Forrajeras y pasturas del ecosistema templado húmedo de la Argentina*. INTA-Universidad de Lomas de Zamora. pp. 165-182.

- Marino, M. A.; Agnusdei, M. G. 2007. Manejo estacional del suministro de nitrógeno en pasturas de *Festuca arundinacea* Schreb. (sudeste bonaerense, Argentina): crecimiento y eficiencia en el uso de recursos. En: XX Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA)-XXX Reunión Asociación Peruana de Producción Animal (APPA). 21 al 25 de octubre Cusco, Perú.
- Mattera, J., Romero, L.A., Cuatrín, A.L., Cornaglia, P.S., Grimoldi, A.A. 2013. Yield components, light interception and radiation use efficiency of lucerne (*Medicago sativa* L.) in response to row spacing. European Journal of Agronomy, 45, 87-95.
- Mazzanti, A. y Arosteguy, J.C. 1985. Comparación del rendimiento estacional de forraje de cultivares de *Festuca arundinacea* Schreb. Revista Argentina de Producción Animal 5. pp. 157-165.
- Mazzanti, A.; Fernández, J. y Echeverría, M. 1997. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y la calidad del forraje de avena y raigrás anual en el sudeste bonaerense. Boletín Técnico N° 143 INTA-EEA Balcarce. pp. 1-28.
- McGrath, D. 1992. A note on the influence of nitrogen application and time of cutting on water soluble carbohydrate production by Italian ryegrass. Irish Journal of Agricultural and Food Research 31. pp. 189-192.
- Ojeda, J.J., Caviglia, O.P., Agnusdei, M.G., Errecart, P. M. 2018. Forage yield, water-and solar radiation-productivities of perennial pastures and annual crops sequences in the south-eastern Pampas of Argentina. Field Crops Research, 221, 19-31.
- Pagano, E. y Rimieri, P. 2001. Genética y mejoramiento de especies forrajeras. En Maddaloni, J. y Ferrari, L. (Eds). Forrajeras y pasturas del ecosistema templado húmedo de la Argentina. INTA-Universidad de Lomas de Zamora pp. 357-388.
- Parodi, L. R. 1958. Gramíneas Bonaerenses. 5a. *Acmé*. Buenos Aires.

- Paruelo, J.M.; Guerschman, J.P. y Veron, S.R. 2005. Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. (en línea). Capital Federal, Argentina, UBA. Consultado 10 de ene. 2021. Disponible en <https://www.agro.uba.ar/users/paruelo/Publicaciones/2005/Paruelo%20J.M.%20Guerschman%20J.P.%20y%20Veron%20S.R.%202005.%20Cambios%20en%20el%20patro%20de%20uso%20de%20la%20tierra%20en%20Argentina.%20Ciencia%20Hoy.pdf>
- Peyraud, J.L.; Astigarraga, L.; Faverdin, P. 1997. Digestion of fresh perennial ryegrass fertilized at two levels of nitrogen by lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 64(2-4), 155-171.
- Rognli, O. A., Saha, M. C., Bhamidimarri, S., & van der Heijden, S. 2010. Fescues. *Fodder crops and amenity grasses*, 261-292.
- Rimieri, P.; Scheneiter, O. J. y Carrete, J. R. 2002. Pasturas cultivadas en la Región Pampeana húmeda. IDIA XXI N° 2 pp. 19-22.
- Sardiña, M.C.; Ceconi, I.; Bandera, R. 2011. Respuesta productiva de Festuca alta (*Festuca arundinacea*) y agropiro alargado (*Thynopirum ponticum*) a la fertilización nitrogenada en el oeste de la Pcia. De Bs. As. En: Fertilización en pasturas. Mendez, D.; Scheneiter, O. (Eds.). Ediciones INTA. Pp 13-18.
- Scheneiter, O. 2002. Aporte de las gramíneas a la acumulación y calidad del forraje de pasturas mezclas con alfalfa. Revista de Tecnología Agropecuaria. Vol VII (20): pp. 32-36.
- Scheneiter, O.; Barletta, P.; Sellart, N.; Codaro, A. 2011. Fertilización de cultivares de festuca alta con diferentes dosis de nitrógeno. En: Fertilización en pasturas. Mendez, D.; Scheneiter, O. (Eds.). Ediciones INTA. Pp 30-36.
- Scheneiter O. 2013. La fertilizacion con nitrógeno de pasturas consociadas Revista Fertilizar Art. N°25
Disponible en <https://fertilizar.org.ar/la-fertilizacion-con-nitrogeno-de-pasturas-consociadas/>

- Valk, H.; Kappers, I. E.; Tamminga, S. 1996. In sacco degradation characteristics of organic matter, neutral detergent fibre and crude protein of fresh grass fertilized with different amounts of nitrogen. *Animal Feed Science and Technology*, pp. 63(1-4), 63-87.
- Whitehead, D.C. 1995. *Grassland nitrogen*. CAB international Wallingford, Oxon OX10 8D, UK. 397 pp.
- Wilman, D. 1975. Nitrogen and italian ryegrass: 1. Growth up to 14 weeks: dry-matter yield and digestibility. *Grass and Forage Science*, 30(2), pp. 141-147.