

Producción y calidad nutritiva del forraje de variedades de *Elymus scabrifolius* (Döll) J. H. Hunz y *Thinopyron ponticum* (Podp.) Bartworth et Dewey**Forage yield and nutritional quality of varieties of *Elymus scabrifolius* (Döll) J. H. Hunz and *Thinopyron ponticum* (Podp.) Bartworth et Dewey**

María de los Ángeles Ruiz^{1,2*} <https://orcid.org/0000-0002-2645-6423>, Gabriel Blain¹ <https://orcid.org/0009-0008-6531-8905>, Ricardo Daniel Ernst² <https://orcid.org/0009-0004-5653-1596> y Diana Elizabeth Villagra² <https://orcid.org/0009-0003-5948-277X>

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA EEA). Ing. Agr. G. Covas. Anguil, La Pampa, Argentina. ²Facultad de Ciencias

Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa, La Pampa, Argentina. *Correo electrónico: ruiz.maria@inta.gob.ar

Resumen

Objetivo: Evaluar la producción y calidad nutritiva del forraje de dos variedades de *Elymus scabrifolius* (Döll) J. H. Hunz y cuatro de *Thinopyron ponticum* (Podp.) Bartworth et Dewey en un suelo sin problemas de salinidad ni alcalinidad, y en un suelo salino alcalino en la región semiárida central de Argentina.

Materiales y Métodos: Se evaluaron *T. ponticum* (agropiro alargado, AA; variedades Pucará, Hulk, Barpiro y una variedad de la zona, semilla identificada) y *E. scabrifolius* (agropiro criollo, AC; variedad FA UNLPam y Don Alberto INTA) en dos tipos de suelos: sin limitación por salinidad ni alcalinidad y suelo salino sódico. Se realizaron dos ensayos en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Anguil, según un diseño de parcela dividida, siendo la principal el tipo de suelo y las subparcelas, las variedades. Se evaluó la producción de forraje por corte, anual y durante el período de tres años. Se determinó la calidad nutritiva del forraje en dos épocas del año (otoño y primavera).

Resultados: En la producción de forraje acumulado total en el período no hubo interacción entre el tipo de suelo y variedad ni diferencias entre variedades. La producción de forraje acumulado en total durante el período evaluado en el suelo salino-alcalino se redujo entre 40,0 y 50,0 % con respecto a la del suelo sin limitaciones por salinidad-alcalinidad. En las dos variedades de *E. scabrifolius*, la proteína bruta en el suelo salino alcalino fue 38,0 % inferior en comparación al suelo sin limitación por salinidad ni alcalinidad. En tanto, en *T. ponticum*, la proteína bruta fue 48,0 % inferior en el suelo salino sódico, siendo este el motivo de la interacción. En ambas variedades de *E. scabrifolius*, se observó 9,0 % más de fibra detergente neutra (FDN) en otoño respecto a primavera en el suelo sin limitantes, y la FDN fue significativamente superior en el suelo salino alcalino respecto al no salino.

Conclusiones: Los resultados mostraron la capacidad para implantar y producir forraje de ambas especies en ambientes salinos y alcalinos. La calidad nutritiva del forraje se afectó por la salinidad-alcalinidad. En general, aumentó el contenido de fibra y disminuyó la proteína bruta.

Palabras clave: fibra, pasturas, proteína, salinidad

Abstract

Objective: To evaluate forage yield and nutritional quality of two varieties of *Elymus scabrifolius* (Döll) J. H. Hunz and four varieties of *Thinopyron ponticum* (Podp.) Bartworth et Dewey on a soil without salinity and alkalinity problems, and on an alkaline saline soil in the central semiarid region of Argentina.

Materials and Methods: *T. ponticum* (elongated wheatgrass, AA; varieties Pucará, Hulk, Barpiro and a local variety, seed identified) and *E. scabrifolius* (Creole wheatgrass, AC; varieties FA UNLPam and Don Alberto INTA) were evaluated on two types of soils: without limitation by salinity or alkalinity and sodic saline soil. Two trials were conducted at the Anguil National Institute of Agricultural Technology, according to a split-plot design, the main plot being the soil type and the sub-plots, the varieties. Forage production was evaluated per cut, per year and over a three-year period. Forage nutritional quality was determined at two times of the year (autumn and spring).

Results: There was no interaction between soil type and variety or differences between varieties in total accumulated forage production during the period. The total accumulated forage production during the evaluated period in the saline-alkaline soil was reduced between 40,0 and 50,0 % compared with that of the soil without salinity-alkalinity limitations. In the two varieties of *E. scabrifolius*, crude protein in the silvopastoral system was 38,0 %, lower with regards to the soil without limitation by salinity or alkalinity. Meanwhile, in *T. ponticum*, crude protein was 48,0 % lower in the sodic saline soil, this being the reason for the interaction. In both varieties of *E. scabrifolius*, 9,0 % more neutral detergent fiber (NDF) was observed at the autumn cutting date with respect to the spring cutting date in the saline-alkaline soil, as well as a significantly higher NDF percentage.

Conclusions: The results showed the ability to implant and produce forage of both species in saline and alkaline environments. Forage nutritional quality was affected by salinity-alkalinity. In general, fiber content increased and crude protein decreased.

Keywords: fibres, pastures, proteins, salinity

Recibido: 29 de julio de 2024

Aceptado: 15 de noviembre de 2024

Como citar este artículo: Ruiz, María de los Ángeles; Blain, Gabriel; Ernst, Ricardo Daniel & Villagra, Diana Elizabeth. Producción y calidad nutritiva del forraje de variedades de *Elymus scabrifolius* (Döll) J. H. Hunz y *Thinopyron ponticum* (Podp.) Bartworth et Dewey. *Pastos y Forrajes*. 47:e19, 2024.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>. El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

Introducción

En Argentina, la ganadería se ha desplazado hacia suelos con mayores limitantes edáficas, entre ellas salinidad o alcalinidad, principalmente por el corrimiento de la frontera agrícola. En los últimos años, se ha incrementado el uso de pasturas puras de *Thinopyron ponticum* (Podp.) Bartworth et Dewey (agropiro alargado) y *Elymus scabrifolius* (Döll) J. H. Hunz (agropiro criollo) en la región semiárida pampeana (Ruiz *et al.*, 2018; Kent y Ruiz, 2019). Estas pasturas se pueden utilizar como materia prima de combustión en tierras cultivables en condiciones marginales (Ciria *et al.*, 2020) y en fitorremediación de áreas con problemas importantes de salinidad-alcalinidad (Clay *et al.*, 2023).

E. scabrifolius y *T. ponticum* son gramíneas perennes de crecimiento otoño invierno primavera, que se destacan por su gran rusticidad y adaptación a condiciones extremas de humedad (Iturralde-Elortegui *et al.*, 2020) y sequía (Borrajó *et al.*, 2018; Tian *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2022). Estas especies son tolerantes a suelos salinos como a alcalinos-sódicos, escasamente drenados (Andrioli, 2023). Por tanto, se pueden cultivar en casi todo el territorio de Argentina, especialmente donde otros recursos forrajeros no prosperan o son escasos (Temel *et al.*, 2015; Pesqueira *et al.*, 2017; Lavandera y Andres, 2018). Entre las diversas especies forrajeras adaptadas a condiciones extremas, se encuentra *T. ponticum* y *E. scabrifolius* (Kent y Ruiz, 2019). A su vez, en ambas especies, se ha documentado que existen diferencias entre poblaciones respecto a su comportamiento en situaciones de estrés salino o hídrico, y de ambos (Acuña, 2019; Melani *et al.*, 2020; Zabala *et al.*, 2020; Borrajó *et al.*, 2021; 2022).

Desde el punto de vista del aprovechamiento de las pasturas, no sólo es importante la producción sino la calidad nutricional, característica que comúnmente se evalúa mediante determinaciones de proteína bruta (PB), fibra neutro detergente (FDN) y fibra ácido detergente (FDA). La composición química de la biomasa puede variar según la forrajera (especie y variedad), el clima, el estado de desarrollo fenológico, las condiciones del suelo, el sombreo y el manejo del corte o pastoreo, que influye en la proporción de hoja/tallo y material senescente (Jones y Moseley, 1993). Los valores de FDN y FDA no son estáticos, van cambiando a medida que se modifica y controla la altura de la pastura (Avila *et al.*, 2014).

La reducción del crecimiento de especies adaptadas a ambientes salinos se asocia, generalmente, a condiciones de deficiencia hídrica, la acumulación de iones tóxicos en tejidos y desbalance iónico, debido a las dificultades de absorción de nutrientes esenciales (Borrajó *et al.*, 2018; Jha *et al.*, 2019; Borrajó *et al.*, 2021; Kozłowska *et al.*, 2021; Hu y Schmidhalter, 2023; Taher *et al.*, 2023).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la producción y calidad nutritiva del forraje de dos variedades *E. scabrifolius* y cuatro de *T. ponticum*, en un suelo sin problemas de salinidad ni alcalinidad y en uno salino alcalino, en la región semiárida central de Argentina.

Materiales y Métodos

Localización. Los ensayos se realizaron en la Estación Experimental Agropecuaria Anguil Ing. Agr. Guillermo Covas, del INTA, ubicada en la provincia de La Pampa, Ruta Nacional No. 5 km 580. Se encuentra ubicada a -36.542 de latitud, -63.991 de longitud y altura de 165 msnm.

Características edafoclimáticas. El estudio se realizó en un suelo franco (pH 6,0; CE 2,1 DS/m), sin problemas de alcalinidad ni salinidad (NS) y en un suelo franco arenoso, salino y alcalino (SS; pH 8,6, CE 5,4 DS/m) (Willadino y Camara, 2003), eventualmente anegadizo, ambos pertenecientes al área biogeográfica del espinal, comprendida por el distrito de Caldén. En la figura 1 se muestran las precipitaciones totales mensuales ocurridas durante el transcurso del ensayo (2014-2016) y las precipitaciones medias mensuales totales históricas (1973-2016).

Tratamientos y diseño experimental. Se evaluaron doce tratamientos, resultado de la combinación de suelo (dos sitios) y especies/variedades (seis). El diseño a campo fue de parcela dividida, siendo el suelo la parcela principal, con dos sitios: suelo salino-alcalino (SS) y no salino-alcalino (NS). Las subparcelas fueron las especies con sus variedades: dos variedades de *E. scabrifolius* y cuatro variedades de *T. ponticum*, con cuatro repeticiones en cada sitio.

Se evaluaron dos poblaciones de *E. scabrifolius*, provenientes de la provincia de La Pampa (Argentina). Una población procedente de INTA EEA Anguil, Don Alberto (DA), y la otra procedió de la Facultad de Agronomía (FA) UNLPam. Respecto al *T. ponticum*, se utilizaron las variedades comerciales Pucará (P), Hulk (H), Barpiro (B) y una extendida en la zona como semilla identificada (C).

Procedimiento experimental. La siembra se realizó el 21 de abril de 2014 de forma manual; a 1,5 cm de profundidad, en surcos distanciados a

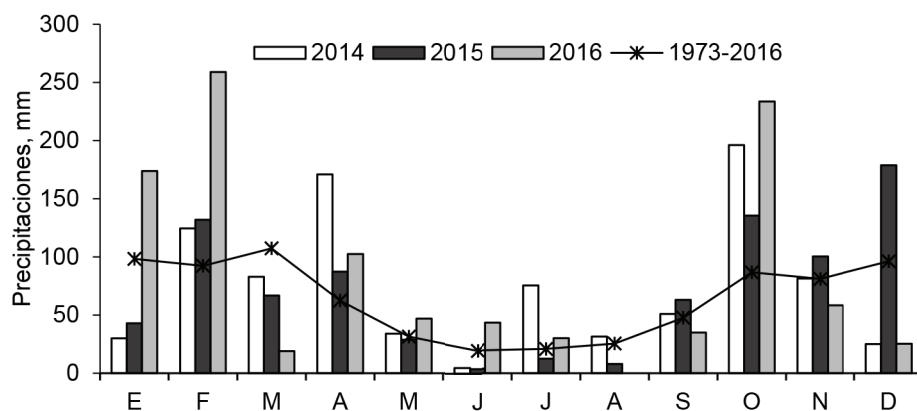


Figura 1. Precipitación mensual en 2014-2016, y promedio histórico para un período de 44 años en la EEA. INTA Anguil

20 cm unos de otros. Las unidades experimentales fueron parcelas de cada variedad, de 1,4 m × 3,0 m (4,2 m²). El ensayo se condujo realizando cortes durante tres años.

Mediciones. Se determinó el peso de forraje mediante el corte de las parcelas con una máquina motosegadora a 5 cm del suelo. El forraje fresco se obtuvo de una superficie de 3 m². Se pesó a campo (peso fresco: PF) y posteriormente, se obtuvo una muestra de 200 g para llevar a estufa (60 °C) y obtener el porcentaje de materia seca (% MS). Con este valor se determinó el peso del forraje seco (PS= PF x % MS). Los cortes se realizaron el 5 de noviembre de 2014, el 23 de abril de 2015, el 9 de octubre de 2015, el 23 de noviembre de 2015, el 6 de junio de 2016 y el 9 de noviembre de 2016.

Se recogieron muestras para realizar análisis de calidad nutritiva del forraje el 9 de octubre de 2015 y el 6 de junio de 2016. Las muestras de material seco se molieron en un molino ciclónico con malla de 1 mm y se guardaron para su análisis posterior. Se determinó el porcentaje de PB, FDN y FDA mediante tecnología NIRS (equipo FOSS NIRSystems 6500 en modo reflectancia, rango 400 a 2 500 nm) con análisis por duplicado (Juan *et al.*, 2016).

Análisis matemático. Se realizó análisis de la varianza, de acuerdo con diseño factorial, tipo de suelo (parcela principal) x especie/variedad (subparcela) x época y las respectivas interacciones. Las fechas de corte se consideraron medidas repetidas en el tiempo. La separación de las medias se realizó por la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) ($p < 0,05$). Previamente se comprobó la normalidad de las variables mediante la prueba de *Shapiro-Wilks* y la homocedasticidad de las varianzas

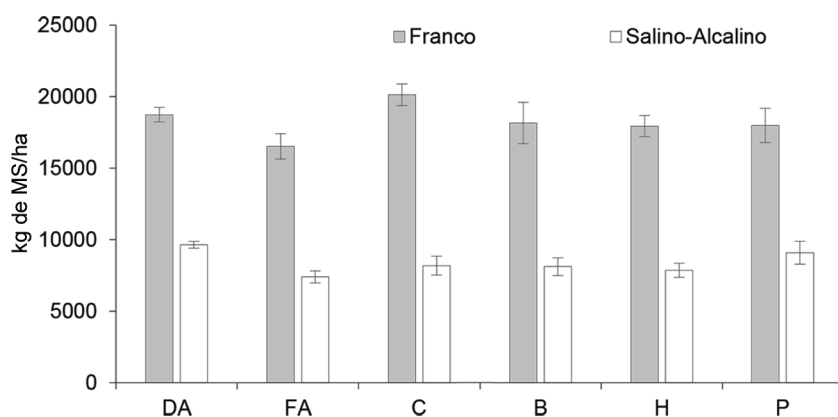
mediante *Levene*. Se utilizó el paquete estadístico Infostat® (2018).

Resultados y Discusión

Producción de forraje. En la variable producción de forraje acumulado total del período no hubo interacción entre el tipo de suelo y variedad ($p > 0,05$) ni hubo diferencias entre variedades ($p > 0,05$). Solo se encontraron diferencias entre tipos de suelo ($p < 0,05$). La producción de forraje acumulado total del período evaluado en el suelo salino-alcalino (figura 2) se redujo entre 40,0 y 50,0 % respecto a la del suelo sin limitaciones por salinidad-alcalinidad.

En la variable producción de forraje acumulado total anual fueron significativos los efectos tipo de suelo, año e interacción suelo x año ($p < 0,05$). El efecto variedad no fue significativo. En el suelo franco, el forraje acumulado total anual del año 2016 fue significativamente superior ($p < 0,05$) con respecto a los años 2014 y 2015 (figura 3). Estas diferencias no fueron evidentes en el suelo salino.

Para el análisis por corte, se encontró interacción significativa suelo x corte ($p < 0,05$). También fueron significativos los efectos suelo, fecha de corte y variedad ($p < 0,05$). En todas las fechas de corte, la producción promedio de forraje de las variedades de *E. scabrifolius* y *T. ponticum* fue significativamente ($p < 0,05$) superior en el suelo franco respecto del suelo salino-alcalino. Las diferencias fueron más notorias en cinco de las seis fechas y superaron en más de 30 % la producción de forraje obtenida en el suelo franco con respecto a la del salino-alcalino. En el corte realizado en noviembre del 2015, la diferencia fue inferior al 15,0 % (figura 4).



E. scabridifolius- DA: Don Alberto; EEA Anguil y FA: Facultad de Agronomía, UNLPam

T. ponticum- P: Pucará PV INTA, H: Hulk Gentos, B: Barpiro Barenbrug y C: variedad difundida en la zona

Figura 2. Producción acumulada de forraje del período de tres años de dos variedades de

E. scabridifolius y cuatro de *T. ponticum* en dos tipos de suelo (kg de MS/ha)

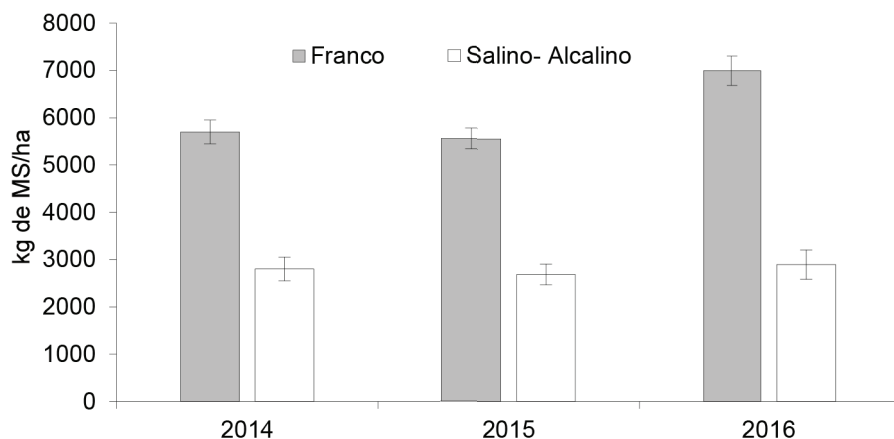


Figura 3. Producción acumulada promedio anual de forraje de las variedades de *E. scabridifolius* y *T. ponticum* en dos tipos de suelo.

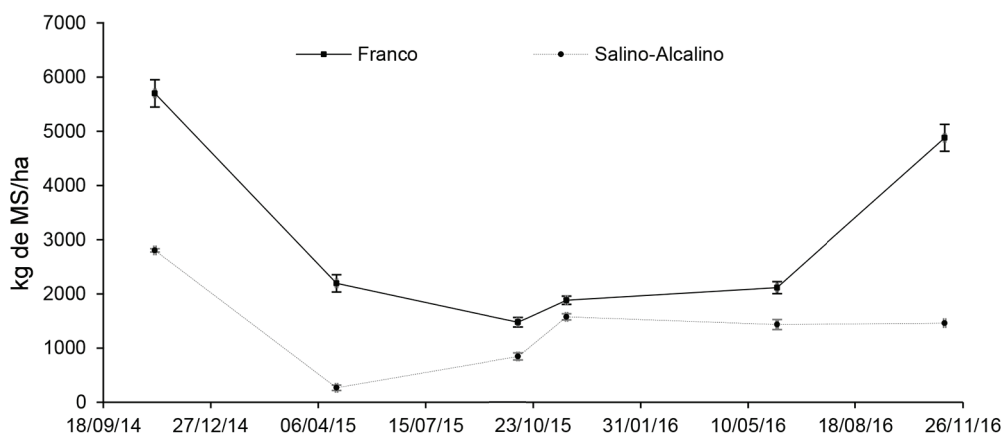


Figura 4. Producción promedio de forraje por fecha de corte de variedades de *E. scabridifolius* y *T. ponticum* en dos tipos de suelo (kg de MS/ha).

La salinidad afecta la biomasa de hoja, tallo, altura de la planta y fotosíntesis de especies forrajeras (Borrajó *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2023a; Li *et al.*, 2023b). Si bien *T. ponticum* presenta capacidad para implantarse y sobrevivir en ambientes de salitral, la producción de forraje total, anual y por corte (figuras 2, 3 y 4) se afectó por la salinidad-alcalinidad, así como la calidad nutritiva del forraje. Lo mismo ocurrió con *E. scabrifolius*, que presentó un buen comportamiento en este ambiente salino-alcalino. Temel *et al.* (2015) y Borrajó *et al.* (2018) observaron que bajo situaciones de estrés las variedades de *E. scabrifolius* y *T. ponticum* manifestaron reducción en la producción de materia seca, menor tamaño de hojas y macollos, menor número de macollos y menor índice de área foliar. Además, Borrajó *et al.* (2018) encontraron variación en la estabilidad para la producción de forraje, lo que se vinculó al número de macollos.

En general, en este trabajo no se encontraron diferencias entre especies y variedades de *E. scabrifolius* y *T. ponticum* en lo que respecta a la producción acumulada de forraje (figura 2). En coincidencia, Lavandera *et al.* (2021) en un suelo sódico observaron similar producción de forraje entre variedades de *T. ponticum*. Ruiz *et al.* (2018) registraron diferencias significativas en la producción de forraje acumulado de dos años, siendo esta mayor en *T. ponticum* respecto al criollo y crestado en un suelo franco arenoso no salino-alcalino.

En ambientes limitantes por salinidad-alcalinidad, las plantas están bajo presión de estrés, que conduce a la reducción del crecimiento y, por consiguiente, del rendimiento, que puede ser mayor o menor, en dependencia de la especie. En otros casos, para aquellas especies que no logran tolerar esa condición, se puede llegar a producir la muerte de las plantas. En este ensayo, la sobrevivencia de plantas no se afectó durante el período evaluado. Esto se podría explicar por mecanismos específicos de *E. scabrifolius* y *T. ponticum*, como puede ser la osmorregulación mediante la acumulación de algunos compuestos como prolina y proteínas específicas (El-Moukhtari *et al.*, 2020), además del aumento de la eficiencia en el uso del agua, procesos que ayudan a superar el estrés (Borrajó *et al.*, 2018; 2021) o la exclusión de sodio (Zabala *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2020).

Se esperaba una diferencia a favor de las variedades de *T. ponticum* respecto de las variedades de *E. scabrifolius*, debido a que este último es menos tolerante a la sequía. Los resultados mostraron que

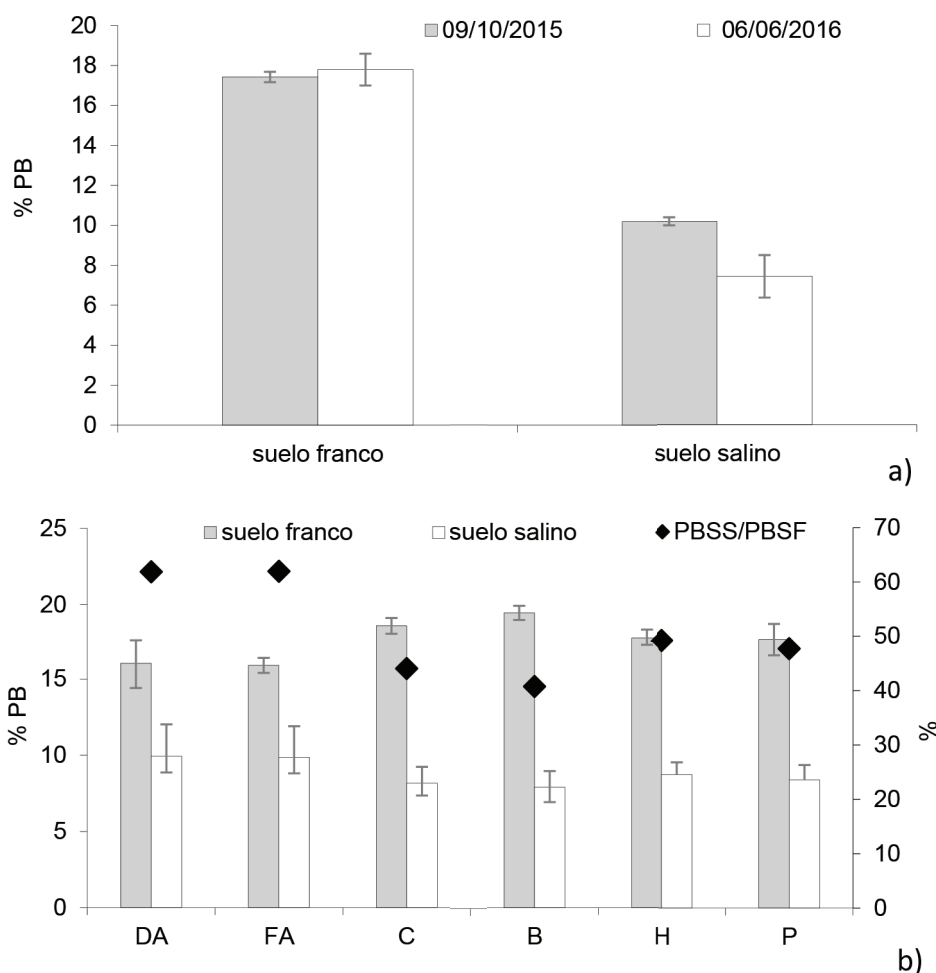
ambas especies presentaron buena implantación, sobrevivencia de plantas y producción de forraje similar o mayor a la de la vegetación nativa. El buen comportamiento de las variedades de *E. scabrifolius* estaría explicado por las precipitaciones abundantes ocurridas en esos tres años. Sin embargo, debido a que se trata de una región semiárida, el balance hídrico es negativo durante enero, junio y julio, aun en circunstancias de precipitaciones cercanas a la media histórica. Los picos de producción de forraje del ensayo y, por lo tanto, los cortes, ocurrieron en otoño y primavera, lo que coincide con la etapa de mayor producción de forraje de las especies templadas (Kent y Ruiz 2019).

Calidad nutritiva del forraje

Proteína bruta. En el porcentaje de PB del forraje cosechado, las interacciones tipo de suelo*fecha de corte y tipo de suelo*variedad fueron significativas ($p < 0,01$). Independientemente de la variedad, solo en el suelo salino, el porcentaje de PB en la fecha de corte de primavera fue mayor respecto al de otoño ($p < 0,05$) (figura 5a). El porcentaje de PB de las variedades fue inferior en el suelo salino respecto al franco (figura 5b). En las dos poblaciones de *E. scabrifolius*, la PB en el suelo salino fue 38,0 % inferior en comparación con el suelo franco. En tanto que en *T. ponticum*, la PB fue 48,0 % inferior en el suelo salino alcalino, siendo este el motivo de la interacción observada. Esto se debe a que en el suelo franco la proteína bruta de las variedades de *T. ponticum* fue superior a las variedades de *E. scabrifolius*.

Como es de esperar, la salinidad redujo la calidad nutritiva del forraje, aumentó los contenidos de fibra (figuras 6 y 7) y disminuyó la PB (figuras 5a y 5b), posiblemente debido a la aceleración de la muerte de láminas (Borrajó *et al.*, 2021) y la aceleración del cambio de estado fenológico a reproductivo (encañazón). A su vez, el porcentaje de fibra (FDN y FDA) fue superior en otoño. Borrajó y Alonso (2001) explica que el menor valor nutritivo estaría relacionado con la mayor proporción de tallos desarrollados y, en consecuencia, mayor cantidad de tejido indigestible. Las variedades más tardías tendrían menor cantidad de tejidos lignificados y mayor concentración de carbohidratos solubles (Borrajó y Alonso, 2001).

Fina *et al.* (2019) observaron en *T. ponticum* que, a mayor salinidad, mayor calidad forrajera (mayores valores de porcentaje de PB y menores valores de FDN y FDA). Esto se asociaría a menor acumulación de biomasa aérea, menores tasas de



E. scaberrifolius- DA: Don Alberto EEA Anguil y FA: Facultad de Agronomía, UNLPam.

T. ponticum- P: Pucará PV INTA, H: Hulk Gentos, B: Barpiro Barenbrug y C: variedad difundida en la zona.

PBSS/PBSF: relación entre el porcentaje de proteína bruta del forraje cosechado en el suelo salino y el porcentaje de proteína bruta del forraje cosechado en el suelo franco.

Figura 5 a) Porcentaje promedio de PB del forraje cosechado en primavera (barras color gris) y en otoño (barras de color blanco) en dos tipos de suelo
b) Porcentaje de proteína bruta del forraje cosechado de dos variedades de *E. scaberrifolius* y cuatro *T. ponticum* en dos tipos de suelo.

crecimiento y menor proporción de tejidos de sostén con respecto a los tejidos metabólicos, lo que se refleja en la mayor proporción de lámina en los ambientes más salinos. Esta diferencia con el presente ensayo podría estar asociada a un clima con mayor disponibilidad hídrica.

En coincidencia con Pesqueira *et al.* (2017), los valores de PB en el suelo salino-alcalino se ubicaron entre 8,0-10,0 %, mientras que en el suelo no salino fue 18,0 %. De manera similar, Temel *et al.* (2015) encontraron en distintas especies de gramíneas disminución en el contenido de proteína, debido a la condición de salinidad y alcalinidad. En el suelo sa-

lino, el porcentaje de PB del corte de primavera fue mayor al de otoño, lo que se explica, posiblemente, por la suma de estrés salino e hídrico en esta última época del año.

La interacción observada en PB en ambas especies se debió a que en el suelo salino en las dos poblaciones de *E. scaberrifolius* se registró un 38 % menos de proteína respecto al suelo franco. En *T. ponticum* fue 48,0 % inferior en el suelo salino alcalino (figura 5b). Esto se debió a que en el suelo franco la proteína bruta de las variedades de *T. ponticum* superó en 4,0 % a las variedades de *E. scaberrifolius*. Este mayor valor de PB de las variedades

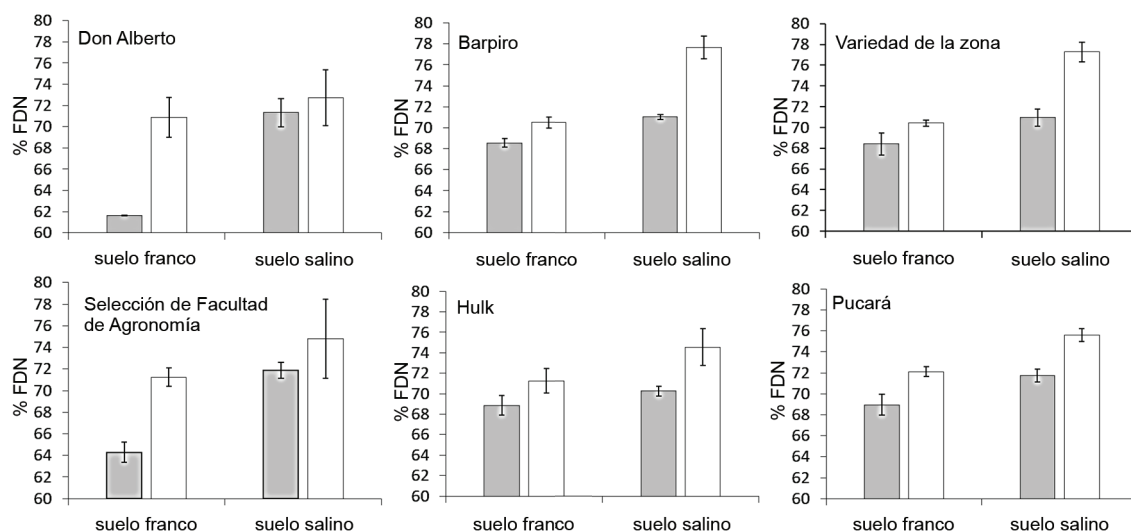


Figura 6. Porcentaje de FDN del forraje cosechado en primavera (barras color gris) y otoño (barras de color blanco) de variedades de *E. scabrifolius* Don Alberto INTA EEA Anguil y Facultad de Agronomía, UNLPam y variedades de *T. ponticum* Barpiro, Hulk, variedad difundida en la zona y Pucará en dos tipos de suelo.

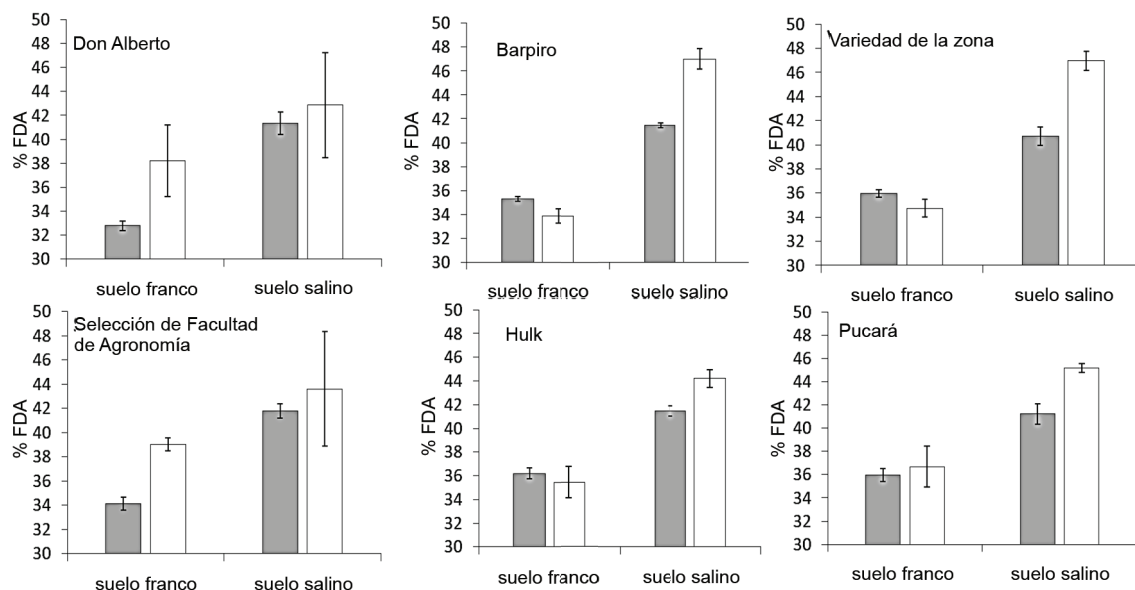


Figura 7. Porcentaje de fibra detergente ácida (%FDA) del forraje cosechado en primavera (barras color gris) y otoño (barras de color blanco) de *E. scabrifolius* Don Alberto y selección de la Facultad de Agronomía, UNLPam; y de *T. ponticum*- Barpiro, Hulk, variedad difundida en la zona y Pucará en dos tipos de suelo.

de *T. ponticum* se puede deber a mayor tolerancia al estrés hídrico, que posibilita que dichas variedades respecto a las de *E. scabrifolius* prioricen desarrollos vegetativos (macollen) y que mantengan las actividades fisiológicas normales (Borrajó *et al.*, 2022). En cambio, en otro ensayo realizado en un suelo franco arenoso, Ruiz *et al.* (2018) refirieron 5 % de PB menos en *T. ponticum* respecto a *E. scabrifolius* en fecha de corte de primavera, y no se re-

gistraron diferencias en otoño. Lauric *et al.* (2022) no encontraron en *T. ponticum* comportamiento definido de PB en suelos con distintas limitantes de alcalinidad.

Fibra detergente neutra y ácida. En general, independientemente de la variedad de *E. scabrifolius* y *T. ponticum*, el porcentaje de FDN del forraje cosechado fue superior en otoño y en el suelo salino (figura 6).

En FDN, los efectos simples tipo de suelo, variedad, fecha de corte e interacción variedad*tipo de suelo*fecha de corte fueron significativos ($p < 0,05$).

En ambas poblaciones de *E. scabrifolius*, hubo 9,0 % más de FDN en la fecha de corte de otoño respecto a la de primavera en el suelo no salino, como también el porcentaje de FDN significativamente superior ($p < 0,05$) en el suelo salino respecto al suelo no salino en primavera (figura 6).

En las variedades de *T. ponticum* Pucará y Barpiro hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) en el porcentaje de FDN entre ambos tipos de suelo para una misma fecha de corte y diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ambas fechas en un mismo tipo de suelo (figura 6). Se observaron los mayores valores en el suelo salino y la fecha de corte del seis de junio de 2016.

En *T. ponticum* var. Hulk no hubo diferencias en el porcentaje de FDN entre ambos tipos de suelo para una misma fecha de corte ni tampoco entre fechas de corte para un mismo suelo (figura 6).

En *T. ponticum* difundido de la zona, se registró mayor FDN en junio respecto a octubre, sólo en el suelo salino ($p < 0,05$). A su vez, hubo mayor FDN en suelo salino respecto al no salino, pero solo en la fecha de corte de junio (figura 6).

En general, para las variedades de *E. scabrifolius* y *T. ponticum* el porcentaje de FDA del forraje cosechado fue superior en el suelo salino respecto del suelo franco (figura 7).

En FDA tanto los efectos simples tipo de suelo, fecha de corte y la interacción variedad*tipo de suelo*fecha de corte fueron significativos ($p < 0,05$).

En las variedades de *T. ponticum* Barpiro, variedad difundida en la zona y Pucará, el porcentaje de FDA del forraje fue superior ($p < 0,05$) en suelo salino. A su vez, las diferencias entre fechas de corte en dichas variedades solo se observaron en el suelo salino, siendo significativamente superior ($p < 0,05$) el porcentaje de FDA en junio respecto a octubre (figura 7).

Si bien hubo una tendencia a ser mayor el porcentaje de FDA de junio respecto a octubre, en ambas variedades de *E. scabrifolius* no se observaron diferencias significativas ($p = 0,12$) en el mismo entre las dos fechas de corte analizadas en ninguno de los tipos de suelos considerados.

En *T. ponticum* var. Hulk solo se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el porcentaje de FDA del forraje entre tipos de suelo, siendo el suelo salino el de mayor valor (figura 7). No existie-

ron diferencias en porcentaje de FDA entre fechas de corte en ninguno de los tipos de suelo.

Los cortes se efectuaron paralelamente en el SS y NS, por lo que las diferencias encontradas se corresponden con estados de la pastura por el efecto osmótico e hídrico de las sales y de la alcalinidad. Los valores de FDN y FDA en el suelo salino-alcalino presentaron un rango de variación de 60,0-78,0% y 32,0-48,0%, respectivamente (figuras 6 y 7). Dichos valores mínimos de FDN y FDA coincidieron con los obtenidos por Pesqueira *et al.* (2017) en la cuenca del Salado. Los valores más elevados de FDN y FDA encontrados en este trabajo se podrían deber a la combinación de estreses salino-alcalino más déficit hídrico.

El mayor porcentaje de FDN observado en *E. scabrifolius* en otoño respecto a primavera en el suelo no salino como también el mayor valor en el suelo salino respecto al suelo NS en primavera (figura 6) estaría explicado por la mayor sensibilidad de esta especie al déficit hídrico (Ferrari, 2001). Respecto a las variedades de *T. ponticum*, las mayores diferencias entre fechas de corte se detectaron en el suelo salino, siendo mayor el porcentaje de FDN en otoño. Temel *et al.* (2015) encontraron en distintas especies de gramíneas que el contenido de FDN se incrementó con la alcalinidad y disminuyó con la salinidad.

Similarmente a lo observado en la variable FDN respecto al porcentaje de FDA, en cada variedad de *T. ponticum* las mayores diferencias entre fechas de corte se hallaron en el suelo salino, siendo mayor dicho valor en otoño (figura 7). En ambas variedades de *E. scabrifolius*, no se encontraron diferencias en el porcentaje de FDA del forraje cosechado entre las dos fechas de corte analizadas y los tipos de suelo considerados. Esto se podría deber a la elevada variabilidad en los datos.

En este trabajo se observó que las variedades de *E. scabrifolius* presentaron menor FDN (63,0 %) respecto a *T. ponticum* (68,0 %) en primavera en el suelo franco (figura 6). En FDA, la diferencia entre *E. scabrifolius* (33,0 %) y *T. ponticum* (36,0 %) fue similar a lo encontrado para FDN, pero de menor magnitud (figura 7). Estos resultados coinciden con los encontrados en un suelo franco por Ruiz *et al.* (2018), donde en ambas fechas de corte (otoño y primavera) *T. ponticum* mostró mayores porcentajes de FDN respecto a *E. scabrifolius*, y solo mayor porcentaje de FDA en primavera.

Cabe destacar que en *T. ponticum*, variedad Hulk, el porcentaje de FDN no se modificó entre tipos de suelo para una misma fecha de corte ni entre fechas de corte para un mismo tipo de suelo. Tampoco se modificó el porcentaje de FDA entre fechas de corte en ninguno de los tipos de suelo. Esta estabilidad nutricional en porcentaje de FDN y FDA estaría relacionada con mecanismos que le permiten superar el estrés salino y/o hídrico, (Borrajó *et al.*, 2022).

Conclusiones

En las condiciones climáticas en las que se condujo el ensayo, las variedades de *E. scabrifolius* y *T. ponticum* mostraron una producción de forraje superior a los 2 800 kg de MS/ha/año. Sin embargo, la producción total anual promedio en el ambiente salino-alcálico se redujo 54,0 % respecto a la del suelo sin limitantes.

La salinidad-alcálinidad del suelo impacta de manera adversa la calidad nutritiva del forraje, evidenciado por un aumento en el contenido de fibra y una disminución en la proteína bruta. Además, el estrés combinado de condiciones salinas-alcálicas e hídricas intensifica las disparidades en la producción y calidad del forraje entre los diferentes tipos de suelo.

Los ensayos mostraron la capacidad de las variedades de *E. scabrifolius* y *T. ponticum* para implantarse y producir forraje en ambientes salinos y alcalinos. Sería necesario evaluar con mayor profundidad el comportamiento de nuevas variedades en un rango más amplio de condiciones edáficas, incluyendo anegamiento.

Agradecimientos

Se agradece a la Ing. Agr. MSc. Karina Frigerio por sus aportes críticos al presente trabajo. El trabajo fue financiado por los proyectos de INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria): PD-L01-I098 Producción forrajera ecoeficiente en pasturas y pastizales y PE-L01-I008: Tecnologías para la mejora de la productividad y eficiencia de sistemas mixtos de La Pampa y San Luis.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses entre ellos.

Contribución de los autores

- María de los Ángeles Ruiz. Generación a la idea, búsqueda de información bibliográfica, redacción y revisión del manuscrito.
- Gabriel Blain. Contribución a la idea, búsqueda de información bibliográfica, redacción y revisión del manuscrito.

- Ricardo Daniel Ernst. Contribución a la idea, búsqueda de información bibliográfica, redacción del manuscrito.
- Elizabeth Villagra. Contribuyó a la idea, búsqueda de bibliografía y redacción del manuscrito.

Referencias bibliográficas

- Acuña, Mariela L. 2019. *Estudios genéticos en genotipos de agropiro alargado creciendo bajo condiciones halomórficas*. Tesis para optar al título de Doctor en Ciencias Agrarias. Rosario, Argentina: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. <http://hdl.handle.net/2133/19051>.
- Andrioli, Romina J. 2023. Adaptive mechanisms of tall wheatgrass to salinity and alkalinity stress. *Grass Forage Sci.* 78 (1):23-36. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12585>.
- Avila, Roxana; Barbera, P.; Blanco, L.; Burghi, V.; Battista, J. P. De; Frasinelli, C. *et al.* 2014. *Gramíneas forrajeras para el subtrópico y el semiárido central de la Argentina*. Argentina: Ediciones INTA. https://www.produccion-animal.com.ar/libros_on_line/54-Gramineas_forrajeras_2014.pdf.
- Borrajó, Celina I. & Alonso, S. I. 2001. *Caracterización de materiales de agropiro alargado en estado reproductivo*. XXVIII Jornadas Argentinas de Botánica. Vol. 36. Santa Rosa, Argentina: Sociedad Argentina de Botánica. p. 129. <https://botanicaargentina.org.ar/jornadas-argentinas-de-botanica/>.
- Borrajó, Celina I.; Sánchez-Moreiras, Adela M. & Reigosa, M. J. 2018. Morpho-physiological responses of tall wheatgrass populations to different levels of water stress. *PLOS ONE*. 13 (12):e0209281. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209281>.
- Borrajó, Celina I.; Sánchez-Moreiras, Adela M. & Reigosa, M. J. 2021. Morpho-physiological, biochemical and isotopic response of tall wheatgrass populations to salt stress. *J. Agron. Crop Sci.* 207 (2):236-248. <https://doi.org/10.1111/jac.12461>.
- Borrajó, Celina I.; Sánchez-Moreiras, Adela M. & Reigosa, M. J. 2022. Ecophysiological responses of tall wheatgrass germplasm to drought and salinity. *Plants*. 11 (12):1548. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11121548>.
- Ciria, C. S.; Barro, Ruth; Sanz, Marina & Ciria, Pilar. 2020. Long-term yield and quality performance of perennial energy grasses (*Agropyron* spp.) on marginal land. *Agronomy*. 10 (7):1051. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10071051>.
- Clay, Sharon A.; Fiedler, D.; Reese, Cheryl & Clay, D. E. 2023. Restoring ecological function to saline-sodic soils in South Dakota with perennial grass mixtures. *Agron. J.* 115 (1):135-146. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.21184>.

- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, Mónica; Gonzalez, Laura A.; Tablada, Elena M. & Robledo, C. W. 2018. InfoStat versión 2018. Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. <https://www.infostat.com.ar/>.
- El-Moukhtari, A.; Cabassa-Hourton, Cécile; Farissi, M. & Savouré, A. 2020. How does proline treatment promote salt stress tolerance during crop plant development? *Front. Plant Sci.* 11:1127. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01127>.
- Ferrari, Liliana. 2001. Agropiro criollo. En: J. Maddaloni y Liliana Ferrari, eds. *Forrajeras y pasturas del ecosistema templado húmedo de la Argentina*. Buenos Aires: INTA. p. 135-142.
- Fina, F.; Berone, G. D.; Garis, M.; Angeletti, F. R.; Chiacchiera, S.; Conde, M. B. *et al.* 2019. Calidad forrajera de agropiro alargado bajo diferentes niveles de nitrógeno y salinidad. *RAPA*. 39 (1):146. https://www.researchgate.net/publication/335703135_Fina_et_al_2019_RESUMEN_-_Calidad_forrajera_de_agropiro_alargado_bajo_diferentes_niveles_de_nitrogeno_y_salinidad#fullTextFileContent.
- Hu, Y. & Schmidhalter, U. 2023. Opportunity and challenges of phenotyping plant salt tolerance. *Trends Plant Sci.* 28 (5):552-566. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.12.010>.
- Iturralde-Elortegui, María del R. M.; Berone, G. D.; Striker, G. G.; Martinefsky, María J.; Monterubbianesi, María G. & Assuero, Silvia G. 2020. Anatomical, morphological and growth responses of *Thinopyrum ponticum* plants subjected to partial and complete submergence during early stages of development. *Funct. Plant Biol.* 47 (8):757-768. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP19170>.
- Jha, U. C.; Bohra, A.; Jha, R. & Parida, S. K. 2019. Salinity stress response and 'omics' approaches for improving salinity stress tolerance in major grain legumes. *Plant Cell Rep.* 38 (3):255-277. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-019-02374-5>.
- Jones, D. I. H. & Moseley, G. 1993. *Sward measurement handbook*. Berks, United Kingdom: British Grassland Society.
- Juan, N. A.; Ortiz, D. A.; Pordomingo, A. B. & Funaro, D. O. 2016. Tecnología NIRS para estimar el valor nutritivo de planta entera de maíz y sorgo para silaje y sus fracciones (tallo, hoja, panoja/espiga). *RAPA*. 36 (1):189-293. 39 Congreso Argentino de Producción Animal <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20173013135>.
- Kent, F. S. & Ruiz, María de los A. 2019. Agropiro. En: F. S. Kent, ed. *Forrajeras cultivadas anuales y perennes más difundidas en la provincia de La Pampa*. La Pampa, Argentina: EA Anguil. p. 7-10. https://www.researchgate.net/publication/337948538_Forrajeras_cultivadas_anuales_y_perennes_mas_difundidas_en_la_provincia_de_La_Pampa#fullTextFileContent.
- Kozłowska, Monika; Bandurska, Hanna & Breś, W. 2021. Response of lawn grasses to salinity stress and protective potassium effect. *Agronomy*. 11 (5):843. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050843>.
- Lauric, Miriam A.; Cerda, Carmen C.; De Leo, G.; Torres-Carbonell, C. A. & Kruger, H. R. 2022. *Estudio de implantación de agropiro en suelos salinos-sódicos con diferentes subambientes*. 45° Congreso Argentino de Producción Animal "La resiliencia en los sistemas productivos". Argentina: Asociación Argentina de Producción Animal. p. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/6216728>.
- Lavandera, J.; Fioravanti, N. & Acuña, M. 2021. *Implantación y producción de forraje de materiales de agropiro alargado en un suelo sódico*. 44 Congreso Argentino de Producción Animal. Argentina: Asociación Argentina de Producción Animal. p. 105.
- Lavandera, J. E. & Andres, A. (2018). *Productividad forrajera del nuevo cultivar de agropiro alargado RANQUEL INTA*. Buenos Aires. <https://ruralnet.com.ar/2018/05/07/productividad-forrajera-del-nuevo-cultivar-de-agropiro-alargado-ranquel-inta/>.
- Li, H.; Li, W.; Zheng, Q.; Zhao, M.; Wang, J.; Li, B. *et al.* 2023. Salinity threshold of tall wheatgrass for cultivation in coastal saline and alkaline land. *Agriculture*. 13 (2):337. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13020337>.
- Li, W.; Yin, J.; Ma, D.; Zheng, Q.; Li, H.; Wang, J. *et al.* 2023. Acceptable salinity level for saline water irrigation of tall wheatgrass in edaphoclimatic scenarios of the coastal saline-alkaline land around Bohai Sea. *Agriculture*. 13 (11):2117. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13112117>.
- Melani, E.; Garelo, F. J.; Cicchino, M. A. & Otondo, J. 2020. *Respuesta a la aplicación de yeso en un suelo sódico en la implantación y producción de praderas de festuca y agropiro*. 43 Congreso Argentino de Producción Animal. Santiago del Estero, Argentina. <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/20272>.
- Pesqueira, J.; Otondo, J. & García, M. D. 2017. Producción de biomasa, cobertura y calidad forrajera de *Chloris gayana* y *Panicum coloratum* en un suelo alcalino sódico de la depresión del Salado. *RIA*. 43 (3):231-238. <https://www.redalyc.org/pdf/864/86454121009.pdf>.
- Ruiz, María Á.; Blain, G.; Ernst, R. D.; Stemphelt, J. L.; Juan, N. A. & Fontana, Laura M. C. 2018. Acumulación y calidad de forraje de especies de agropiro durante la etapa de implantación bajo distintas densidades de siembra. *Semiárida*. 28 (2):17-24. DOI: [http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2018\(02\).1724](http://dx.doi.org/10.19137/semiarida.2018(02).1724).

- Taher, D.; Nofal, E.; Hegazi, M.; El-Gaied, M. A.; El-Ramady, H. & Solberg, S. Ø. 2023. Response of warm season turf grasses to combined cold and salinity stress under foliar applying organic and inorganic amendments. *Horticulturae*. 9 (1):49. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010049>.
- Temel, S.; Keskin, B.; Sımsek, U. & Yılmaz, I. H. 2015. Performance of some forage grass species in halomorphic soil. *Turk. J. Field Crops*. 20 (2):131-141. DOI: <https://doi.org/10.17557/tjfc.82860>.
- Tian, X.; Wei, X.; Wei, H.; M., Xu & Mao, P. 2022. Comprehensive evaluation of drought tolerance of six forage species at the seedling stage. *Arid Zone Res.* 39 (3):978-985. <http://azr.xjegi.com/EN/10.13866/j.azr.2022.03.31>.
- Willadino, Lilia & Camara, Teresa. 2003. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. En: Adela Sánchez-Moreiras; M. J. Reigosa-Roger y Nuria Pedrol-Bonjoch, coords. *La ecofisiología vegetal: una ciencia de síntesis*. Madrid: Thomson-Paraninfo. p. 303-330. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=830207>.
- Zabala, J. M.; Marinoni, Lorena del R.; Taleisnik, Edith L.; Ribero, G. & Schrauf, G. E. 2020. Salt tolerance in Argentine weathgrass [*Elymus scabrifolius* (Döll) J.H. Hunz.] is related to shoot sodium exclusion. *Crop Sci.* 60 (5):2437-2451. DOI: <https://doi.org/10.1002/csc2.20249>.
- Zhang, R.; Feng, X.; Wu, Y.; Sun, Q.; Li, J.; Li, J. *et al.* 2022. Interactive effects of drought and salt stresses on the growth and physiological characteristics of *Thinopyrum ponticum*. *Chin. J. Eco-Agric.* 30 (11):1795-1806. DOI: <https://doi.org/10.12357/cjea.20220185>.
- Zhou, Yantong; Tian, Xiaoxia; Zhang, Y.; Mao, P.; Zheng, M. & Meng, L. 2020. Functional characteristics of the ttelar K⁺ outward rectifying channel (EeSKOR) gene in *Elytrigia elongata*. *Research Square*. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-122275/v1>.