

Número Especial: “INNOVACIONES en ESPECIES FORRAJERAS en ARGENTINA”

**PRODUCTIVIDAD FORRAJERA Y ESTABILIDAD PRODUCTIVA DE POBLACIONES DE
LEPTOCHLOA CRINITA (EX TRICHLORIS CRINITA) EVALUADAS EN CUATRO
AMBIENTES DEL CENTRO-NOROESTE DE ARGENTINA**

*Forage productivity and productive stability of *Leptochloa crinita* (ex *Trichloris crinita*) populations
evaluated in four environments of the center-northwest Argentina*

Quiroga RE^{1*}, Namur PR², Ruiz MA³, Chilo GN⁴

¹INTA EEA Catamarca; ²INTA EEA La Rioja; ³INTA EEA La Pampa; ⁴INTA EEA Salta

*E-mail de contacto: quiroga.raul@inta.gob.ar

RESUMEN

En el centro-noroeste de Argentina (C-NOA) existen pocas opciones de especies forrajeras en el mercado de semillas para implantar pasturas en secano, y las pocas que hay son exóticas. En este contexto, surgió el interés de evaluar gramíneas nativas con potencial para incrementar la cobertura y productividad forrajera de campos de la región, siendo una de las especies que más atención recibe *Leptochloa crinita* (sinónimo: *Trichloris crinita*). En el presente trabajo se evaluaron 11 poblaciones de *L. crinita* en cuatro ambientes del C-NOA (Salta, Catamarca, La Rioja, La Pampa), investigando tanto su productividad forrajera como su estabilidad productiva. El comportamiento de las poblaciones varió entre ambientes; las que más rendimiento presentaron en cada sitio de evaluación fueron: ‘San Martín’ en Catamarca y Salta (5136 y 4492 kg ha⁻¹ año⁻¹), ‘Recreo Salinas’ y ‘HC’ en La Pampa (5108 y 5004 kg ha⁻¹ año⁻¹), ‘Colpes’ y ‘El Tipán’ en La Rioja (3864 y 3820 kg ha⁻¹ año⁻¹). En general, la productividad forrajera por milímetro de lluvia fue mayor en Catamarca (11,4 kg mm⁻¹) que en La Rioja y La Pampa (7,2 y 6,3 kg mm⁻¹), y en éstas mayor que en Salta (4,4 kg mm⁻¹). Las poblaciones ‘Recreo Salinas’, ‘San Martín’ y ‘SC’ (en ese orden) presentaron en general mayor productividad y eficiencia del uso de la precipitación y niveles medios de estabilidad productiva. Le siguieron con productividad, eficiencia y estabilidad algo menores ‘Colpes’, ‘SL’ y ‘El Tipán’. Las poblaciones ‘Salinas Grandes’ y ‘Chamical’ (ésta última corresponde al cv Chamical INTA) presentaron menor productividad y eficiencia del uso de la lluvia, y niveles de estabilidad medios-bajos. Los resultados señalan que hay germoplasmas promisorios en cuanto a su productividad y estabilidad. Estos hallazgos deben interpretarse en conjunto con otros de estudios donde se evalúan otros aspectos de las poblaciones, como su capacidad de germinación, crecimiento inicial, establecimiento a campo, entre otros.

Palabras clave. ensayo comparativo, gramínea nativa perenne, producción de biomasa aérea, regiones semiáridas.

ABSTRACT

For the center-northwest (C-NW) Argentina there are few options of forage species in the seed market to plant pastures, and they are exotics. In this context, interest arose in evaluating native grasses with the potential to increase forage productivity, being *Leptochloa crinita* (synonym: *Trichloris crinita*) one of the species that received most attention. In the present work, 11 populations of *L. crinita* were evaluated in four environments of the C-NW Argentina (Salta, Catamarca, La Rioja, La Pampa), investigating both their forage productivity stability. Performance of the populations varied between environments; those that presented the highest yield in each evaluation site were: ‘San Martín’ in Catamarca and Salta (5136 and 4492 kg ha⁻¹ year⁻¹), ‘Recreo Salinas’ and ‘HC’ in La Pampa (5108 and 5004 kg ha⁻¹ year⁻¹), ‘Colpes’ and ‘El Tipán’ in La Rioja (3864 and 3820 kg ha⁻¹ year⁻¹). In general, forage productivity per millimeter of rainfall was higher in Catamarca (11,4 kg mm⁻¹) than in La Rioja and La Pampa (7,2 and 6,3 kg mm⁻¹), and in these higher than in Salta (4,4 kg mm⁻¹). The best performing populations, ‘Recreo Salinas’, ‘San Martín’ and ‘SC’ (in that order) presented in general high productivity and precipitation use efficiency and intermediate levels of stability. They were followed with somewhat lower productivity, efficiency and stability values by ‘Colpes’, ‘SL’ and ‘El Tipán’. On the other hand, the populations ‘Salinas Grandes’ and ‘Chamical’ (this corresponds to the cv Chamical INTA) presented lower productivity and precipitation use efficiency, and intermediate to low stability levels. The results indicate that there are promising germplasms respect to their productivity and stability. These findings should be interpreted in conjunction with other studies where other aspects of the populations are evaluated, such as their germination capacity, initial growth and field establishment, among others.

Key words. comparative essay, perennial native grass, aerial biomass production, semi-arid regions.

Recibido: septiembre 2022

Aceptado: diciembre 2022

Editores del Número Especial: Juan Mattera, Alejo Ré, María Andrea Tomás, Agustín A. Grimoldi

Introducción

La ganadería es una de las principales actividades productivas de la Argentina, y la más extendida en su territorio (INDEC 2021). Pero muchos de los ambientes pastoriles en los cuales la actividad se desarrolla presentan actualmente productividades por debajo de su potencial debido al sobrepastoreo al que han sido sometidos (Guevara *et al.* 2006; Blanco *et al.* 2019). Ello es más significativo en los ambientes áridos y semiáridos, que por su marginalidad climática son más susceptibles a procesos de degradación (Právělie *et al.* 2017; Oñatibia *et al.* 2020).

Para los ambientes del centro-noroeste de Argentina (C-NOA) con clima seco y cálido existe una única especie disponible en la actualidad que es *Cenchrus ciliaris*, pastura megatérmica (C4) originaria de África y el sur-oeste de Asia que presenta un rápido establecimiento y una elevada productividad forrajera. No obstante, dicha especie ha sido señalada como invasora en varias regiones áridas y semiáridas del mundo (Marshall *et al.* 2012), debido a su capacidad de competir con la flora nativa y sus efectos sobre la estructura y/o el funcionamiento de comunidades vegetales autóctonas (e.g. incremento del régimen de fuego). En la región del Chaco Árido (la más árida del Chaco Seco) la implantación de esta pastura se recomienda para una superficie de hasta cerca del 10 % del total del campo, coincidente con el área de sacrificio cercana a la aguada, de modo que se pueda utilizar de manera combinada con el pastizal natural del ~90% del área restante (Namur *et al.* 2014, Blanco *et al.* 2019). Sin embargo, *C. ciliaris* no se adapta a la totalidad de ambientes de la región, ya que presenta inconvenientes de implantación o tiene baja persistencia y productividad en suelos salinos o moderadamente salinos y en sitios con temperatura media anual menor a 17-18°C o con precipitación anual menor a 300 mm (Ávila *et al.* 2014). Por su parte, en las regiones del Caldenal (parte del Espinal) y del Monte, los procesos desencadenantes de la degradación ambiental están en general relacionados al sobrepastoreo, que conduce a la disminución de las especies forrajeras e incremento de las leñosas y herbáceas de menor valor para la producción ganadera, con aumento del riesgo de incendios destructivos y erosión de los suelos (Llorens 2011). En potreros desmontados, las sequías de verano han reducido el establecimiento de las gramíneas templadas (C3), y por ello las distintas investigaciones se han centrado en la introducción de especies exóticas (Stritzler *et al.* 2007). En estos ambientes, las gramíneas perennes estivales (C4) usadas de manera combinada con el pastizal natural, permiten una buena producción forrajera debido a que son más eficientes en la captación de CO₂ con altas temperaturas y déficit hídrico (Sage 2004). En La Pampa, la gramínea introducida que alcanzó mayor difusión es el pasto llorón (i.e. *Eragrostis curvula*) llegando a convertirse en una especie dominante y competitiva con la flora nativa.

En este contexto, ha surgido hace tiempo el interés por evaluar especies de gramíneas nativas con potencial para recuperar la cobertura herbácea y productividad forrajera de

campos ganaderos del C-NOA, de una manera quizás menos intervencionista para los ecosistemas de la región. Así, se evaluaron varias gramíneas nativas C4 perennes promisorias, por ejemplo: *Digitaria californica*, *Disakisperma dubium*, *Pappophorum caespitosum*, *Leptochloa pluriflora* [sinónimo homotípico: *Trichloris pluriflora*], *Setaria leucopila* (Dalmasso 1994; Schrauf *et al.* 1996; Trione y Cavagnaro 1998; Zabala *et al.* 2011); sin embargo, hubo una especie que varios grupos de investigación coincidieron en priorizar y fue *Leptochloa crinita* (Lag.) Peterson & Snow [sinónimo homotípico: *Trichloris crinita* (Lag.) Parodi] (Blanco y Oriente 2003; Greco y Cavagnaro 2003; Zabala *et al.* 2011; Gil Báez *et al.* 2015; González *et al.* 2021). El avance de los trabajos en esta especie derivó en que se registraran en el INASE cuatro cultivares, uno de los cuales es *L. crinita* cv Chamental INTA. Sin embargo, es necesario aún evaluar el comportamiento de este germoplasma en diferentes ambientes de la región C-NOA. Por otro lado, no se ha explorado suficientemente el comportamiento a campo de otros materiales genéticos de la especie que podrían presentar buen comportamiento en distintos ambientes de la región (i.e. interacción genotipo x ambiente), lo que podría impedir el hallazgo de germoplasma con mejor adaptación y/o productividad. Estudios comparativos previos sobre poblaciones de la especie han señalado la existencia de variabilidad intraespecífica tanto en caracteres de valor adaptativo (Greco y Cavagnaro 2003; Quiroga *et al.* 2013) como de valor forrajero (Greco y Cavagnaro 2005; Gil Báez *et al.* 2015).

Las especies forrajeras nativas como *L. crinita* podrían usarse como pasturas que se implanten en un potrero o porción del campo ganadero para la provisión de forraje (Blanco *et al.* 2019), o bien en planes de restauración ecológica de pastizales naturales degradados. Es importante reconocer que para dichos enfoques posiblemente se requiera contar con plantas de distintas características. En el primer caso se buscaría contar con germoplasmas seleccionados o mejorados genéticamente en su capacidad de establecimiento y para la provisión de forraje de la pastura (Pensiero y Zabala 2017). Mientras que en el segundo caso sería más bien deseable contar con germoplasmas que no hayan sido sometidos a procedimientos de mejoramiento dado que estos, intencionalmente o sin intención, pueden alterar sus características adaptativas al entorno natural tanto biótico (i.e. coexistencia con otras especies) como abiótico (i.e. clima, suelo) (Jones 2003). Cabe señalar que el estudio de la variabilidad intraespecífica entre poblaciones de *L. crinita* y su influencia para el uso de la especie en restauración de pastizales se ha abordado en otro trabajo (Quiroga 2022). Por lo tanto, considerando el primer fin antes mencionado, el objetivo de este trabajo fue comparar germoplasmas de *L. crinita* de distintos orígenes (poblaciones) en distintos sitios de evaluación (jardines comunes) del C-NOA, investigando su productividad forrajera y estabilidad productiva tanto en el tiempo como entre sitios de evaluación.

Materiales y métodos

Se evaluaron 11 poblaciones de la gramínea nativa *L. crinita* (provenientes de sitios con diferentes condiciones ambientales) en 4 jardines comunes (en cada jardín común, las poblaciones están sometidas a las mismas condiciones ambientales) establecidos entre 2011-2013 en las estaciones experimentales del INTA en Catamarca, La Pampa, La Rioja y Salta (ver Tabla 1 y Figura 1). Uno de los germoplasmas evaluados, 'Chamical', corresponde al cultivar cv. Chamical INTA, que se incluyó para evaluar su comportamiento en distintos ambientes y para tener una referencia de comparación para el resto de las poblaciones. En cada sitio de evaluación, las 11 poblaciones se dispusieron en un diseño en bloque completos al azar ($n=3$; tamaño de parcela=2 m²; 8 plantas por parcela, distancia entre plantas=0,5m). La implantación de cada jardín común se hizo con plantas obtenidas desde semilla, que se hicieron crecer en invernaderos ubicados en cada estación experimental. Para la obtención de las plantas se empleó un pool de semilla proveniente de ~20 plantas de cada población. En cada invernadero se colocó la semilla en macetas de aprox. 500 cc rellenas con una mezcla de tierra y arena, las mismas se regaron a capacidad de campo durante 2-3 meses durante la germinación de la semilla y crecimiento inicial de las plantas. En cada sitio de evaluación el trasplante a campo se hizo al inicio de la estación de crecimiento, realizando riego de asiento para asegurar la implantación. Luego de la implantación, una vez finalizada la primera estación de crecimiento, se hizo un corte de limpieza a 10 cm de altura. Desde el año siguiente al trasplante (para evitar el efecto del riego en el primer año) se estimó la productividad anual de forraje de cada parcela en cada jardín común mediante el corte de la biomasa aérea a 10 cm de altura al final de cada estación de crecimiento (momento del pico de disponibilidad de biomasa, cosecha de tejidos verdes y secos; Sala y Austin 2000). Esta medición se realizó durante 5, 4, 4 y 2 años en los jardines comunes de Catamarca, La Rioja, La Pampa y Salta, respectivamente. En cada caso, el material vegetal cosechado fue secado en estufa a 60°C por 72 h y luego pesado. Los valores de productividad forrajera de cada parcela se expresaron en kg ha⁻¹ año⁻¹. Con ellos se calculó para cada parcela en cada jardín común: i) la productividad forrajera promedio entre años, ii) el coeficiente de variación entre años (=desvío estándar entre años*100/promedio entre años; indicador inversamente relacionado a la estabilidad) y iii) la eficiencia en el uso de la precipitación promedio durante el ensayo (Le Houérou 1984) considerando el cociente entre la productividad forrajera de cada año y los milímetros de precipitación recibida en cada año. Finalmente, para cada población se estimó el coeficiente de variación de la productividad forrajera entre sitios de evaluación (=desvío estándar entre sitios*100/promedio entre sitios).

Las características del suelo (0-30 cm) en cada jardín común fueron las siguientes: Catamarca, textura franca, pH=8,5, conductividad eléctrica (CE)=1,8 dS m⁻¹, materia orgánica (MO)=1,6%; La Pampa, franco-arenoso, pH=5,6, CE=2,1 dS m⁻¹, MO=1,4%; La Rioja, franco, pH=8,1, CE=0,6 dS m⁻¹, MO=1,6%; Salta, franco, pH=7,3, CE=0,3 dS m⁻¹, MO=2,0%. Las parcelas no

fueron fertilizadas durante la experiencia. Los datos climáticos correspondientes a los jardines comunes se muestran en la Tabla 1.

El análisis de los datos se realizó mediante modelos mixtos con el programa SAS (SAS Institute 2011), considerando como factores de efecto fijo 'jardín común', 'población' y su interacción; y como factor de efecto aleatorio a los 'bloques' anidados en cada jardín común. El nivel de significancia considerado fue de $P<0,05$. Adicionalmente, con la intención de conocer la magnitud del efecto que presentó cada factor evaluado (sitio de evaluación, población y la interacción entre ambos), se calculó el indicador 'eta cuadrado parcial' [$\eta^2 = (F_{\text{factor}} * df_{\text{numerator}}) / ((F_{\text{factor}} * df_{\text{numerator}}) + df_{\text{denominator}})$] (Cohen 1965; Lakens 2013); valores de $\eta^2 > 0,14$ señalan efecto de magnitud significativa (Richardson 2011). Por otro lado, se evaluó el grado de asociación entre la productividad forrajera, eficiencia del uso de la precipitación y coeficientes de variación de las poblaciones (en cada sitio de evaluación y entre sitios) y las características climáticas de los sitios de origen de las mismas (precipitación anual, temperatura media anual e índice de aridez -calculado con la fórmula provista por De Martonne 1926) mediante análisis multivariado de componentes principales con el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2020).

Resultados

Productividad forrajera

La productividad forrajera promedio de las poblaciones durante el estudio varió diferencialmente entre los sitios de evaluación (interacción 'población x sitio de evaluación' significativa, $P<0,0001$, Figura 2). Las poblaciones que más productividad presentaron en cada jardín común fueron: 'San Martín' en Catamarca y Salta, 'Recreo Salinas' y 'HC' en La Pampa, 'El Tipán' y 'Colpes' en La Rioja. Mientras que las de menor rendimiento fueron: 'HC' en Catamarca, 'Salinas Grandes' en La Pampa y La Rioja, 'Recreo' en Salta. Promediando todas las poblaciones, la productividad forrajera fue mayor en Catamarca y La Pampa (4318 y 3988 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente) que en La Rioja y Salta (3126 y 2994 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente) (jardín común, $P<0,001$). También hubo diferencias entre las poblaciones en su comportamiento general a través de los 4 sitios de evaluación (población, $P<0,0001$), presentando 'San Martín' y 'Recreo Salinas' los mayores rendimientos (4216 y 4187 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente) y 'Salinas Grandes' el menor (2556 kg ha⁻¹ año⁻¹; Figura 5a).

Eficiencia del uso de la precipitación

La productividad forrajera por milímetro de lluvia durante el estudio varió diferencialmente entre las poblaciones según los sitios de evaluación (interacción 'población x sitio de evaluación' significativa, $P<0,0001$, Figura 3). Las poblaciones con más eficiencia de conversión de la lluvia caída en forraje fueron en cada jardín: 'San Martín' en Catamarca y Salta, 'Recreo Salinas' y 'HC' en La Pampa, 'El Tipán' y 'Colpes' en La Rioja. Mientras que las de menor eficiencia del uso de la lluvia fueron: 'HC' en Catamarca, 'Salinas Grandes' en La Pampa y La Rioja, 'Recreo' en Salta. Promediando todas las poblaciones, la

Tabla 1. Nombre, coordenadas geográficas (°), región ecológica (según Burkart et al. 1999 y Olson et al. 2001), valores de precipitación media anual (PMA, mm año⁻¹), temperatura media anual (TMA, °C) (período 1970-2000; WorldClim 1.4), e índice de aridez (IA) de De Martonne (1926) de los sitios de colecta de las poblaciones de *L. crinita* (a) y los jardines comunes donde se evaluaron (b). Además, se muestran entre paréntesis los valores correspondientes a los años de estudio obtenidos de estaciones meteorológicas próximas a cada jardín común.

Table 1. Name, geographic coordinates (°), ecological region (according to Burkart et al. 1999 and Olson et al. 2001), historical values of mean annual precipitation (PMA, mm year⁻¹), mean annual temperature (TMA, °C) (years 1970-2000; WorldClim 1.4), and De Martonne's (1926) aridity index (IA) of the collection sites of *L. crinita* populations (a) and the common gardens where they were evaluated (b). In addition, we show in parentheses the values corresponding to the study years obtained from meteorological stations placed near each common garden.

a)							
Población	Latitud	Longitud	Provincia	Región ecológica	PMA	TMA	IA
Chamical *	-30,51	-66,14	La Rioja	Chaco Seco	435	20,1	14,5
Colpes	-28,06	-66,22	Catamarca	Monte	378	19,2	12,9
El Tipán	-28,99	-65,76	Catamarca	Chaco Seco	391	20,7	12,7
HC	-29,96	-63,48	Córdoba	Chaco Seco	550	19,9	18,4
HL	-29,89	-64,46	Córdoba	Chaco Seco	554	19,9	18,5
Recreo	-29,31	-65,14	Catamarca	Chaco Seco	447	20,9	14,5
Recreo Salinas	-29,52	-64,97	Catamarca	Chaco Seco	467	20,9	15,1
Salinas Grandes	-30,60	-65,60	La Rioja	Chaco Seco	459	20,7	15,0
San Martín	-29,21	-65,77	Catamarca	Chaco Seco	389	20,9	12,6
SC	-31,40	-66,77	La Rioja	Chaco Seco	367	19,2	12,6
SL	-31,52	-66,81	La Rioja	Chaco Seco	355	19,4	12,1
b)							
Jardín común	Latitud	Longitud	Provincia	Región ecológica	PMA	TMA	IA
INTA Salta	-24,90	-65,47	Salta	Chaco Seco	679 (812)	16,8 (17,6)	25,3 (29,4)
INTA Catamarca	-28,47	-65,73	Catamarca	Chaco Seco	380 (383)	20,2 (21,6)	12,6 (12,1)
INTA La Rioja	-30,50	-66,11	La Rioja	Chaco Seco	435 (384)	20,1 (20,9)	14,5 (12,4)
INTA La Pampa	-36,53	-64,01	La Pampa	Espinal	637 (708)	15,4 (15,9)	25,1 (27,3)

* La población 'Chamical' se registró como cultivar (cv. Chamical-INTA) en el Instituto Nacional de Semillas (INASE).

productividad forrajera por milímetro de lluvia fue mayor en Catamarca (11,4 kg mm⁻¹) que en La Rioja y La Pampa (7,2 y 6,3 kg mm⁻¹, respectivamente), y estas a su vez superaron a Salta (4,4 kg mm⁻¹) (jardín común, $P < 0,0001$). También se encontró diferencias entre poblaciones en la eficiencia del uso de la precipitación a través de los 4 sitios de evaluación (población, $P < 0,0001$), siendo 'San Martín' y 'Recreo Salinas' las más eficientes (8,5 y 8,4 kg mm⁻¹, respectivamente) y 'Salinas Grandes' la de menor eficiencia (5,3 kg mm⁻¹; Figura 5c).

Estabilidad productiva

El coeficiente de variación entre años (inversamente relacionado a la estabilidad temporal) de las poblaciones se modificó de distinta manera según el sitio de evaluación (población x sitio de evaluación, $P < 0,0001$, Figura 4). En este sentido, las poblaciones que menos variación presentaron (i.e. más estables) fueron: 'HC' en Catamarca, 'HL' en Salta y La Rioja, 'Chamical' y 'Colpes' en La Pampa. Mientras que las que más

variación temporal presentaron fueron: 'Colpes' en Catamarca, 'El Tipán' en Salta y La Pampa, 'Recreo' en La Rioja. Promediando todas las poblaciones, los menores coeficientes de variación ocurrieron en Salta (45%), seguida por Catamarca (61%), La Rioja (71%) y La Pampa (79%) (jardín común, $P < 0,001$). Asimismo, se encontró diferencias entre las poblaciones en su estabilidad temporal promedio a través de los 4 sitios de evaluación (población, $P < 0,0001$), resultando la más estable (menor coeficiente de variación) 'HL' (48%) y la menos estable 'El Tipán' (82%).

Por su parte, el coeficiente de variación entre sitios de evaluación (Figura 5b) fue menor que los coeficientes de variación entre años en los sitios de estudio (Figura 4). En este sentido, las poblaciones más estables entre jardines comunes fueron 'HL' y 'Colpes' (menor coeficiente de variación, 10,3% y 12,9%, respectivamente) y la menos estable fue 'Recreo' (43,4%; Figura 5b).

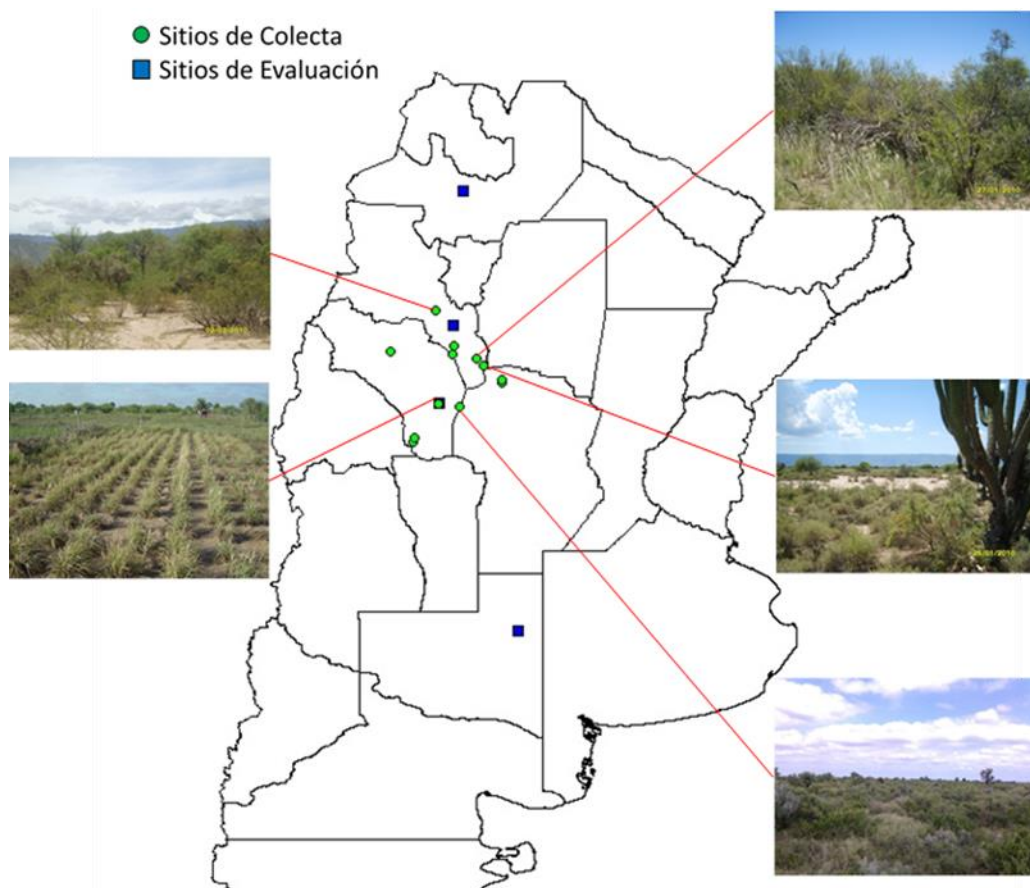


Figura 1. Ubicación de los sitios de origen de las poblaciones de *Leptochloa crinita* estudiadas (círculos verdes) y de los jardines comunes donde se evaluaron (cuadrados azules), acompañados por algunas fotografías de los mismos.

Figure 1. Location of the sites of origin of the evaluated *Leptochloa crinita* populations (green circles) and of the common gardens (blue squares), accompanied by some photographs.

Magnitud del efecto de los factores evaluados

El factor que más influencia tuvo en la expresión de las variables forrajeras fue el sitio de evaluación ($\eta^2=0,88$ para productividad forrajera, $\eta^2=0,87$ para el coeficiente de variación entre años, $\eta^2=0,96$ para la eficiencia del uso de la lluvia), seguido por la interacción 'población x sitio de evaluación' ($\eta^2=0,65$; $0,57$; $0,54$; respectivamente para dichas variables) y por el efecto puro de las poblaciones ($\eta^2=0,55$; $0,48$; $0,44$; respectivamente para dichas variables).

Análisis multivariado

Los dos primeros ejes del análisis de componentes principales explicaron el 33% (eje 1) y 21% (eje 2) de la variabilidad de los datos (Figura 6). En general, el primer eje se relacionó positivamente con la productividad forrajera y eficiencia del uso de la precipitación que manifestaron las poblaciones en los distintos sitios de evaluación. Por su parte, el segundo eje se

relacionó positivamente con la estabilidad productiva que manifestaron las poblaciones, a la vez que se asoció a menores condiciones de aridez (i.e. mayor PMA e IA) (Figura 6) de los sitios de origen de las poblaciones.

Las poblaciones 'Recreo Salinas', 'San Martín' y 'SC' (en ese orden) son las que presentaron en general mayor productividad y eficiencia del uso de la precipitación acompañadas de niveles medios de estabilidad productiva. Le siguieron con productividad, eficiencia y estabilidad algo menores 'Colpes', 'SL' y 'El Tipán'. Las poblaciones 'Salinas Grandes' y 'Chamical' se ubicaron en el extremo de menor productividad y eficiencia del uso de la lluvia del eje 1 (valores más negativos), manteniendo niveles de estabilidad medios-bajos comparables a las últimas poblaciones mencionadas. Con productividades y eficiencias intermedias, pero con contrastantes niveles de estabilidad se tuvo a 'HC' y 'HL' (alta estabilidad) y 'Recreo' (baja estabilidad) (Figura 6).

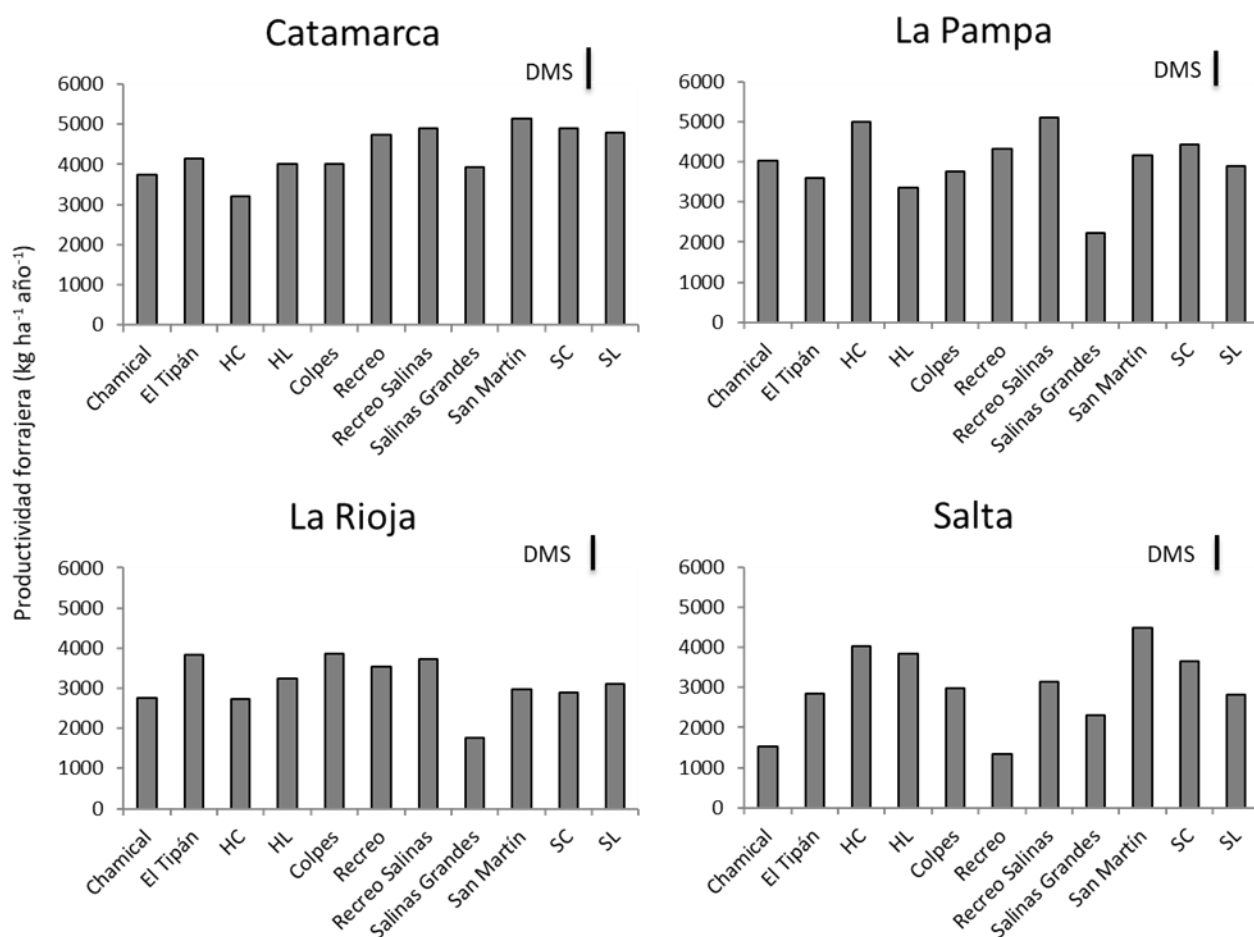


Figura 2. Productividad forrajera (kg ha⁻¹ año⁻¹) promedio de las poblaciones de *Leptochloa crinita* durante los años que se evaluaron en cada sitio de evaluación (jardín común). La barra en cada sitio indica la diferencia mínima significativa entre medias de las poblaciones (DMS).

Figure 2. forage productivity (kg ha⁻¹ year⁻¹) of the populations of *Leptochloa crinita* during the study in each evaluation site (common garden). For each site, the bar shows the least significant difference between population means (DMS).

Discusión

La diferenciación encontrada entre poblaciones de *L. crinita* (Figuras 2-5), al haber sido cuantificada en jardines comunes de evaluación, sugiere la existencia de diferencias de origen genético entre poblaciones (Wu y Jain 1978; de Villemereuil et al. 2016). Este resultado es consistente con estudios previos de la variabilidad intraespecífica en esta especie (Sal 1989; Cavagnaro et al. 2006; Quiroga et al. 2010; Ordinola Agüero et al. 2012; Kloster et al. 2016; Marinoni et al. 2020). Lo obtenido es relevante desde distintos puntos de vista, debido a que la variabilidad intraespecífica constituye un acervo genético de importancia que por un lado favorece la supervivencia de las especies ante cambios en el ambiente (*i.e.* cambio climático, disturbios, impacto antrópico; de Villemereuil et al. 2016), y por otro brinda la posibilidad de llevar adelante procesos de selección y mejoramiento genético (Pensiero y Zabala 2017). Respecto de las posibles fuerzas selectivas que moldean la

diferenciación intraespecífica, en nuestro trabajo la productividad de las poblaciones no se asoció con la precipitación, temperatura o índice de aridez de sus sitios de origen. No obstante, se observó cierta relación negativa entre el índice de aridez y la precipitación en los sitios de origen, con el coeficiente de variación temporal de las poblaciones en los distintos jardines comunes (Figura 6). Este resultado en cierto modo se contrapone a lo esperado, ya que trabajos previos (Greco y Cavagnaro 2003; Quiroga et al. 2013; Blumenthal et al. 2021) señalaron que individuos que proceden de sitios de mayor pluviometría en general presentan mayor capacidad de crecimiento ante situaciones benignas y son más afectados por la escasez de agua (*i.e.* serían menos estables ante la variabilidad interanual de las lluvias) que individuos de sitios más áridos que presentan adaptaciones para resistir la sequía (menor relación tallo:raíz, menor área foliar específica, etc.).

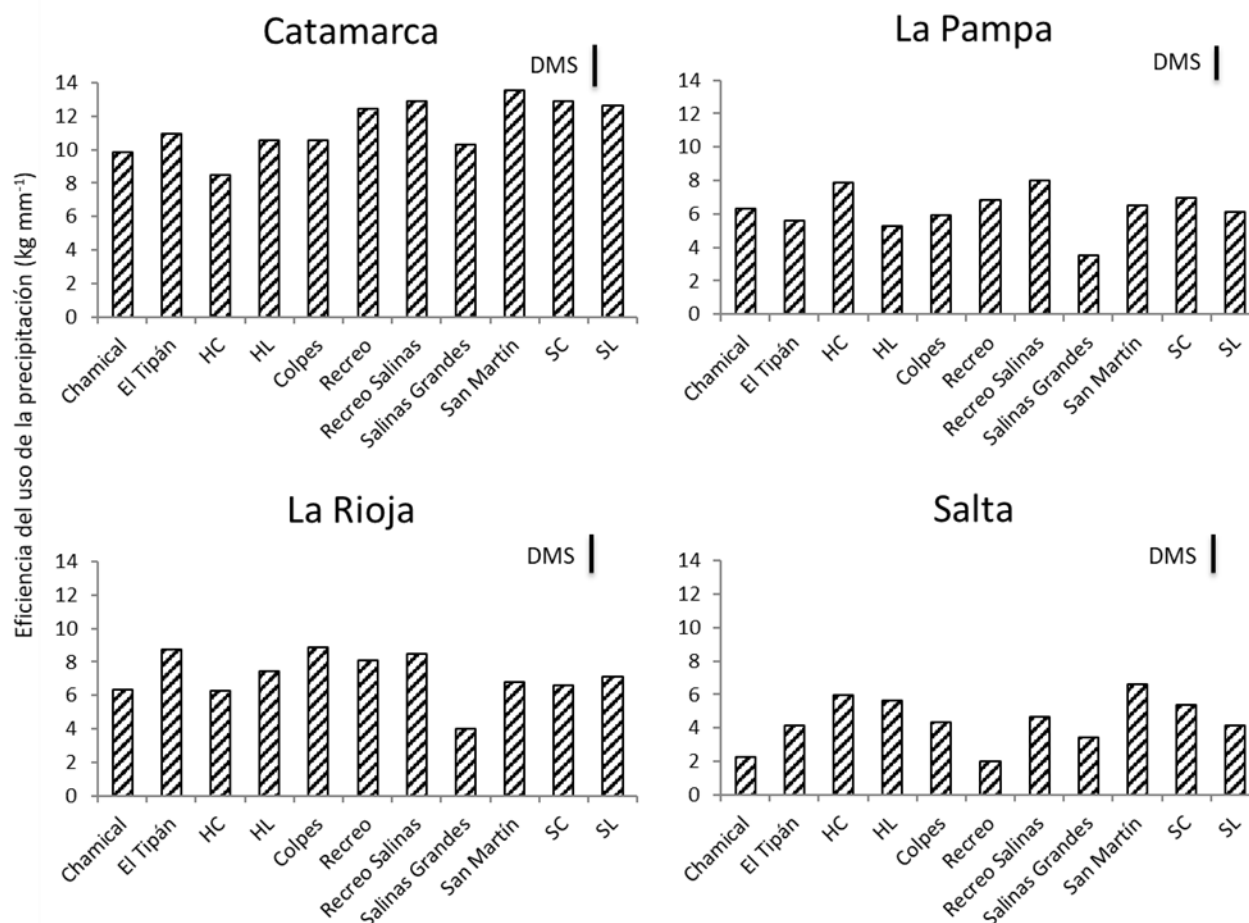


Figura 3. Eficiencia del uso de la precipitación (calculada como el promedio de la productividad forrajera por milímetro de lluvia; kg mm⁻¹) de las poblaciones de *Leptochloa crinita* durante los años que se evaluaron en cada sitio de evaluación (jardín común). La barra en cada sitio indica la diferencia mínima significativa entre medias de las poblaciones (DMS).

Figure 3. Precipitation use efficiency (calculated as mean forage productivity per millimeter of rainfall; kg mm⁻¹) of the populations of *Leptochloa crinita* during the years that were studied in each evaluation site (common garden). For each site, the bar shows the least significant difference between population means (DMS).

Se suele asumir que el mayor determinante de la productividad forrajera en condiciones de secano son las condiciones climáticas y en especial las precipitaciones (Le Houérou *et al.* 1988; Lauenroth y Sala 1992). Sin embargo, hay cierto desconocimiento de la influencia relativa que puede presentar la diferenciación intraespecífica en especies forrajeras. En este sentido, nuestros resultados mostraron que las condiciones del ambiente de crecimiento fueron el principal factor determinante de la expresión forrajera de la especie,

conociendo que la mayor diferenciación entre sitios de evaluación ocurre en torno a sus niveles de precipitación y de aridez. Sin embargo, aunque con una influencia menor que en el caso anterior, pero de todos modos significativa se tuvo tanto al efecto de las poblaciones como al de sus respuestas diferenciales a los ambientes de evaluación, aspectos que suelen ser dejados de lado en modelos de análisis de la productividad de plantas.

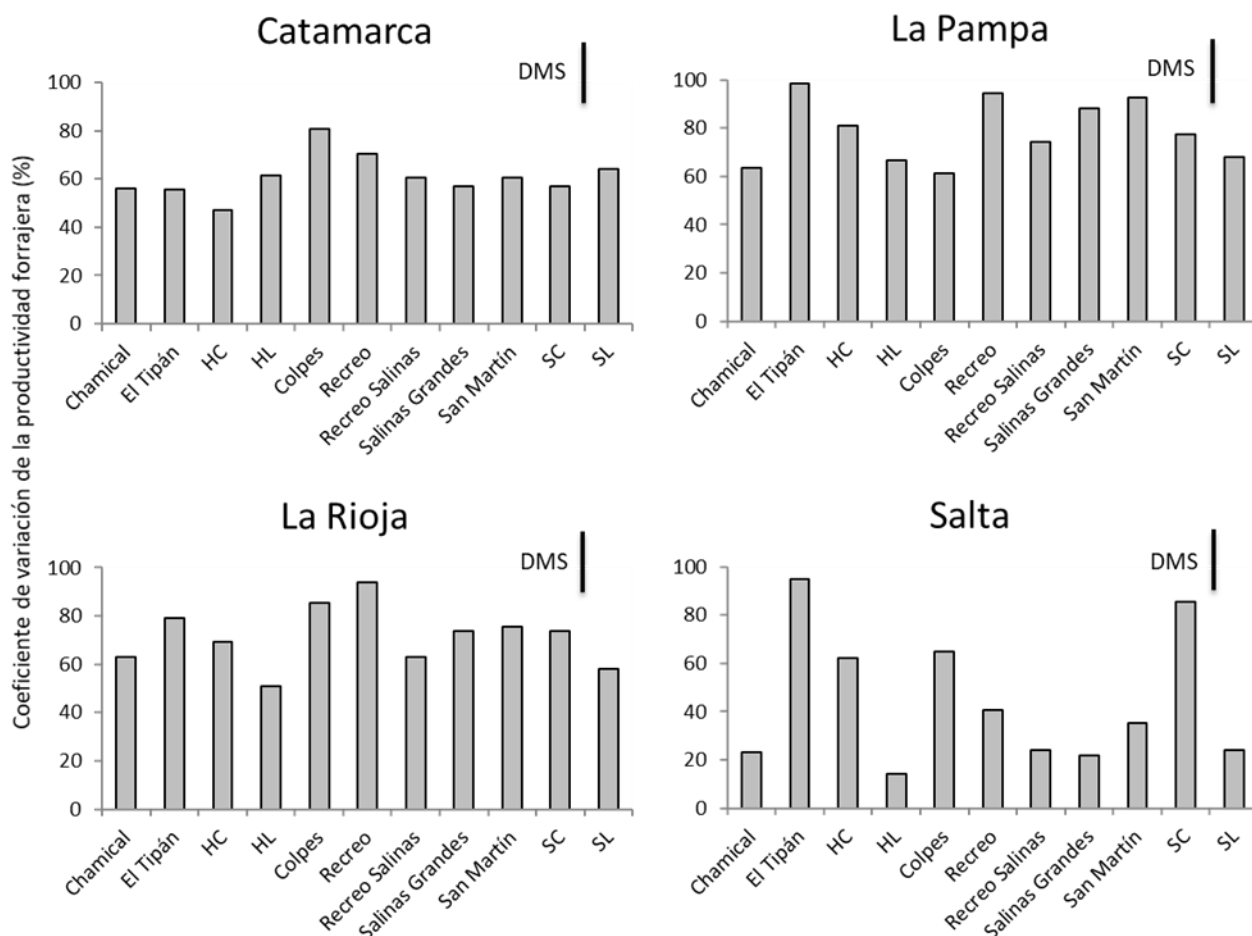


Figura 4. Coeficiente de variación de la productividad forrajera (% calculado como el desvío estándar*100/promedio) entre años de las poblaciones de *Leptochloa crinita* en cada sitio de evaluación (jardín común). La barra en cada sitio indica la diferencia mínima significativa entre medias de las poblaciones (DMS).

Figure 4. Coefficient of variation of forage productivity between years (% standard deviation*100/mean) of the populations of *Leptochloa crinita* in each evaluation site (common garden). For each site, the bar shows the least significant difference between population means (DMS).

La población 'Chamical' (cv. Chamical INTA) fue de las menos productivas en los distintos sitios de evaluación (Figuras 2, 3 y 6) y tuvo, además, una baja estabilidad entre ambientes de evaluación (Figuras 4 y 5). Ello señala que hay otros germoplasmas promisorios con fines de producción de forraje. En este sentido, la población 'Recreo Salinas' fue la que más se destacó en los distintos sitios de evaluación por su alta productividad forrajera y moderada a alta estabilidad entre años y entre sitios, aunque también presentaron buen

comportamiento 'San Martín' y 'SC'. Sería posible incluso pensar en mezclas de poblaciones para "diseñar" pasturas con las características deseadas (Garden *et al.* 2005; Chapman *et al.* 2022). Los resultados de este trabajo deben interpretarse en conjunto con otros donde se evalúan otros aspectos de las poblaciones, como por ejemplo su capacidad de geminación, crecimiento inicial (Kloster *et al.* 2016) y capacidad de establecimiento a campo (Namur 2017; Quiroga 2022).

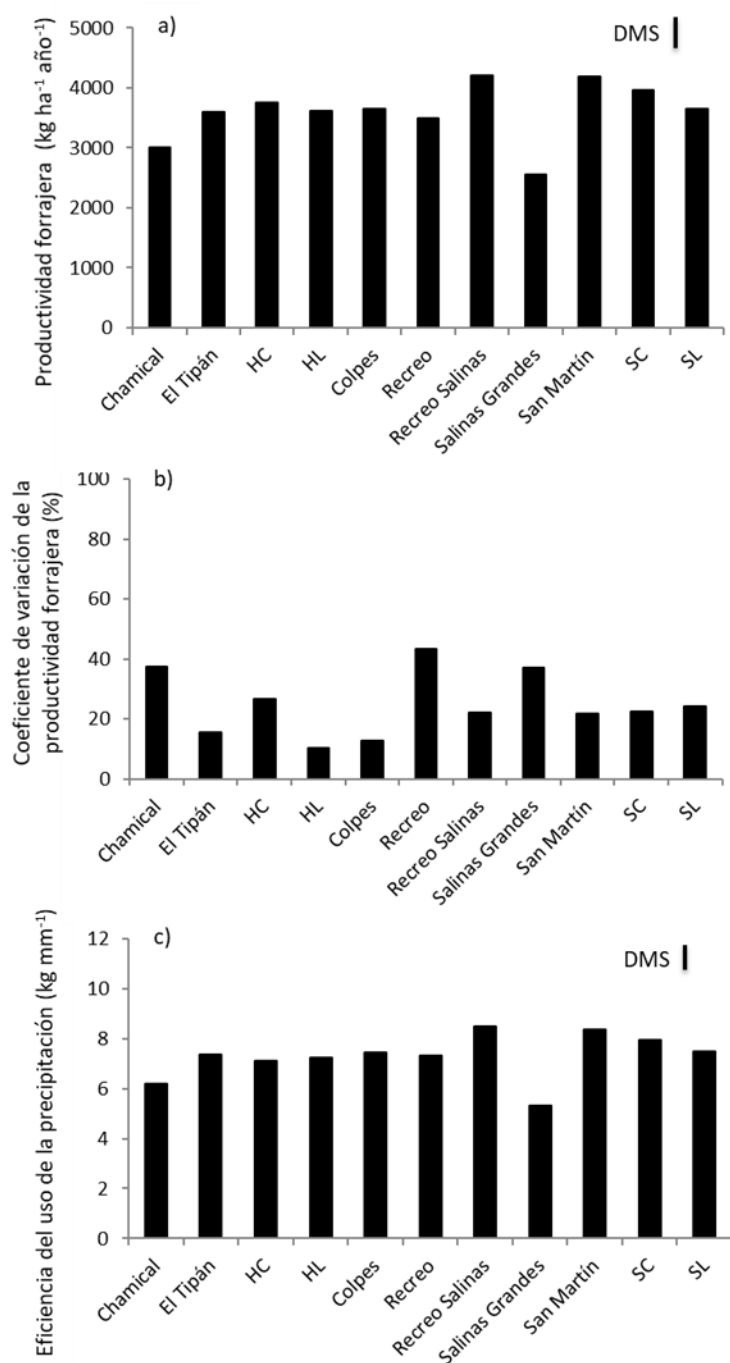


Figura 5. (a) Productividad forrajera promedio (kg ha⁻¹ año⁻¹), (b) coeficiente de variación de la productividad forrajera (%; desvío estándar*100/promedio) y (c) eficiencia de uso de la precipitación promedio entre sitios de evaluación para las poblaciones de *Leptochloa crinita*. En (a) y (c), DMS señala la diferencia mínima significativa entre poblaciones.

Figure 5. (a) Mean forage productivity (kg ha⁻¹ year⁻¹), (b) coefficient of variation of forage productivity (%; standard deviation*100/average) and (c) mean precipitation use efficiency (kg mm⁻¹) of the populations of *Leptochloa crinita* between evaluation sites. In (a) and (c), DMS is the least significant difference between populations.

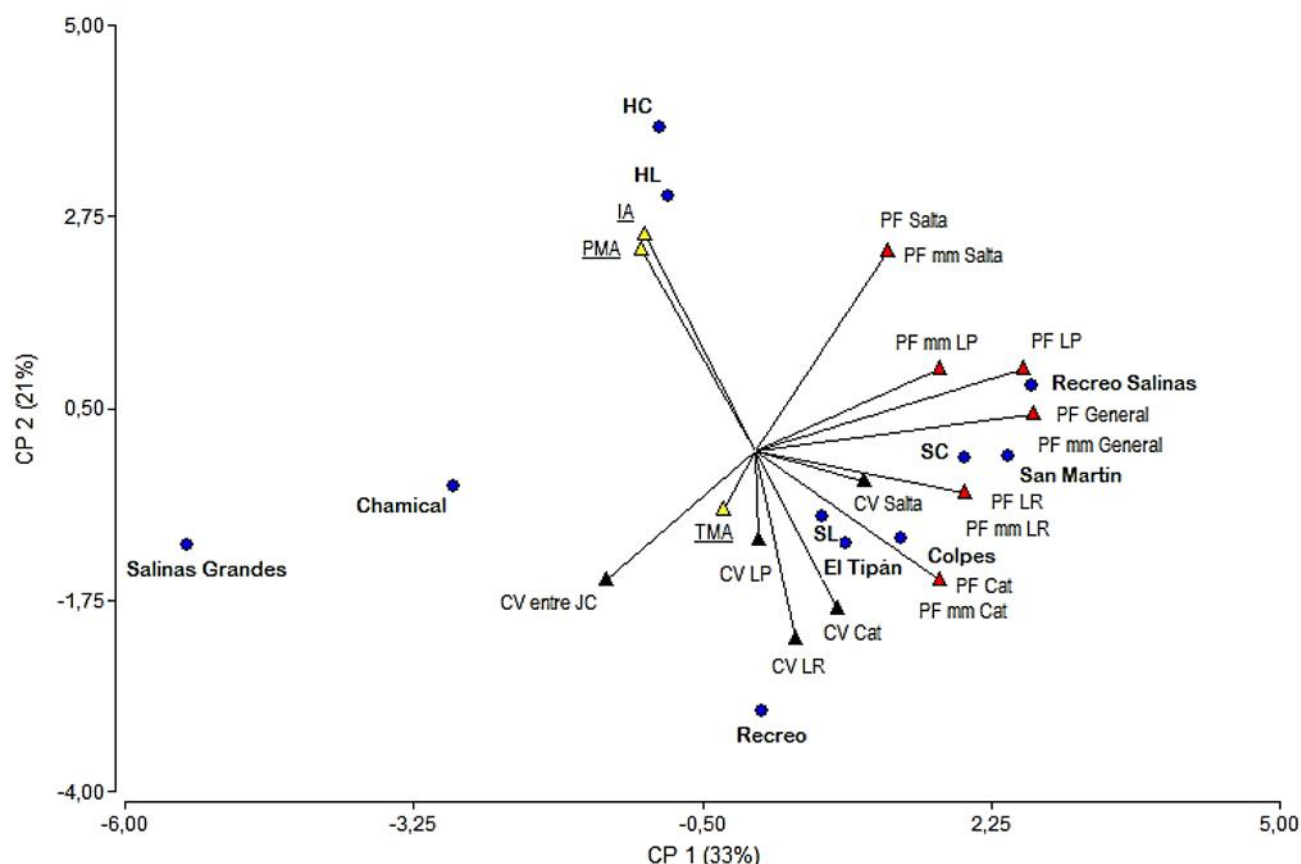


Figura 6. Análisis de componentes principales mostrando la asociación entre productividad forrajera (tanto propiamente dicha –PF– como por milímetro de lluvia –PF mm–, triángulos rojos) y coeficiente de variación de la productividad (CV; triángulos negros) de las poblaciones tanto en cada jardín común (Salta, Catamarca –Cat–, La Rioja –LR–, La Pampa –LP–) como entre jardines comunes (valores generales, entre JC) con las características climáticas de los sitios de origen de las poblaciones (precipitación media anual –PMA–, temperatura media anual –TMA– e índice de aridez –IA– calculado con la fórmula provista por De Martonne 1926; triángulos amarillos y siglas subrayadas).

Figure 6. Principal component analysis graph showing the association between forage productivity (both properly said –PF– and per millimeter of rain –PF mm–; red triangles) and coefficient of variation of productivity (CV; black triangles) of the populations both at each common garden (Salta, Catamarca –Cat–, La Rioja –LR–, La Pampa –LP–) as between common gardens (general values, between JC) with the climatic characteristics of the sites of origin of the populations (mean annual precipitation –PMA–, mean annual temperature –TMA– and aridity index –IA– calculated with the formula of De Martonne 1926; yellow triangles and underlined abbreviations).

La eficiencia del uso de la precipitación varió entre sitios de estudio, presentando las poblaciones en general mayor eficiencia en Catamarca y La Rioja que en Salta y La Pampa (Figura 3). Una forma de analizar este resultado es que las poblaciones, que provinieron todas de sitios semiáridos (IA entre 10 y 20; Tabla 1), presentaron una mayor eficiencia en los jardines comunes situados en ambientes semiáridos (Catamarca y La Rioja) que en los situados en ambientes subhúmedos (IA entre 20 y 30, en Salta y La Pampa; Tabla 1). Esto se puede asociar a que esta especie característica de ambientes áridos y semiáridos puede no presentar los caracteres necesarios para aprovechar altos niveles de humedad de suelo, sino más bien tiene su fisiología y estructura preparadas para soportar la escasez de agua (Quiroga et al. 2013; Berger et al. 2016; Blumenthal et al. 2021). También se conoce que la especie se adapta a moderados niveles de

salinidad en el suelo, lo que también podría comprometer la posibilidad de crecer (y producir) más cuando la disponibilidad de agua es alta (Bonarota et al. 2022). Por su parte, se infiere que el tipo de suelo no habría tenido influencia significativa sobre las diferencias de eficiencia del uso de agua entre jardines comunes, dado que sus suelos tuvieron relativamente similar textura, materia orgánica y conductividad eléctrica, y por ende una semejante capacidad de proveer agua a las plantas (Scherer et al. 1996).

La productividad forrajera de las poblaciones de *L. crinita* en Catamarca y La Rioja (2000-5000 kg ha⁻¹ año⁻¹; Figura 2) fue similar a la hallada en cultivares de la pastura *Cenchrus ciliaris* en dichas provincias (Griffa et al. 2017; Rossi 2005; Namur et al. 2014) siendo *cv. Texas 4464* el más difundido (cabe señalar que estos son valores son ~10 veces superiores a los que se encuentran en pastizales naturales de la región deteriorados

por sobrepastoreo; Blanco *et al.* 2019). Por su parte en Salta, las poblaciones de *L. crinita* produjeron entre 1500 y 4500 kg ha⁻¹ año⁻¹, valores algo inferiores a lo señalado para pasturas de *Megathyrus maximus* (~5500 kg ha⁻¹ año⁻¹), pastura allí más difundida. Mientras que, en La Pampa, los rendimientos obtenidos (2000-5000 kg ha⁻¹ año⁻¹) fueron similares a los de *Panicum coloratum* (4000-5000 kg ha⁻¹ año⁻¹; Paredes y Lehr 2019) y *Digitaria eriantha* (2800-4000 kg ha⁻¹ año⁻¹; Ávila *et al.* 2014) e inferiores a los de *Eragrostis curvula* (2500-7000 kg ha⁻¹ año⁻¹; Leonhardt y Blain 2019). Respecto a la calidad forrajera, trabajos previos sugieren que el contenido de proteína bruta de *L. crinita* (entre 12-17% al inicio de la estación de crecimiento y 5-7% al final de la misma; Quiroga *et al.* 2008) sería comparable al de *C. ciliaris* (12-15% a 5-7%), *P. coloratum* (14% a 5%) y *D. eriantha* (12% a 5-7%), superior al de *E. curvula* (~10% a 3-4%), y algo inferior al de *M. maximus* (13-19% a 5-7%) (Ávila *et al.* 2008; Stritzler 2008; Ávila *et al.* 2014).

Si bien *L. crinita* presenta buenos niveles de producción, y por lo pronto es una de las pocas especies nativas con posibilidades de introducción en los sistemas ganaderos de la región árida y semiárida del C-NOA, hay ciertos aspectos relacionas a su siembra e implantación que deben seguir abordándose, y tienen que ver con el reducido tamaño de su semilla y la presencia de aristas que dificulta su manipulación, así como el relativamente bajo vigor de plántulas que alarga el periodo de implantación respecto de pasturas exóticas que se encuentran en el mercado, etc. Para ello, se podría recurrir a técnicas de mejoramiento, tecnología de semillas y manejo de la siembra (Schrauf *et al.* 2021; Mora 2009; Domínguez *et al.* 2021).

Conclusiones

Se observó diferencias entre poblaciones de *L. crinita* en términos de productividad y estabilidad productiva, también hubo una respuesta diferencial de las mismas a los distintos ambientes de evaluación (*i.e.* interacción genotipo x ambiente). Esta variabilidad constituye una base importante para procesos de selección y mejoramiento. En este sentido, se encontraron germoplasmas promisorios en cuanto a su producción de forraje en los distintos jardines comunes establecidos en el C-NOA, así como en cuanto a su estabilidad productiva entre años y entre ambientes de evaluación. La productividad forrajera de las poblaciones de *L. crinita* estuvo en el rango de productividades que presenta una pastura de origen exótico en Catamarca y La Rioja, pero resultó ser similar o algo inferior a lo que producen pasturas exóticas en La Pampa, e inferior a lo que producen en Salta. La especie *L. crinita*, adaptada a ambientes áridos y semiáridos, presentó en general una eficiencia del uso de la precipitación creciente a medida que aumentó la aridez del ambiente de evaluación (*i.e.* Salta < La Pampa < La Rioja < Catamarca). Es importante resaltar la gran relevancia que podría tener el uso de recursos genéticos de origen nativo para recuperar la productividad forrajera de campos ganaderos del C-NOA, de una manera menos intervencionista para el ecosistema si se compara con la implantación de especies exóticas. Los hallazgos del presente trabajo deben interpretarse

en conjunto con estudios que contemplen otros aspectos de poblaciones de la especie, como ser su capacidad de geminación, crecimiento inicial, establecimiento a campo, entre otros.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración en las mediciones y trabajo de campo a: A. Herrera, R. Ahumada, L. Arreguez, E. Luna Toledo, D. Pereyra, W. Agüero, M. Artaza, N. Zarate, R. Toledo, D. Vera, R. Paredes, R. Ernst, C. Gil Báez, M. Ochoa, D. López Spahr. Este trabajo fue financiado por los proyectos de INTA: PEI142 (2018-2022), PRET PAMSL 1282102 (2013-2018), PNPA1126072 (2013-2016), AEF261811 (2009-2012).

Bibliografía

- Ávila R, Barbera P, Blanco L, Burghi V, De Battista J, Frasinelli C, Frigerio K, Gándara L, Goldfarb M, Griffa S, Grunberg K, Leal K, Kunst C, Lacorte S, Lauric A, Martínez Calsina L, Mc Lean G, Nenning F, Otondo J, Petrucci H, Pizzio R, Pueyo J, Ré A, Ribotta A, Romero L, Stritzler N, Tomas M, Torres Carbonell C, Ugarte C, Veneciano J (2014) Gramíneas forrajeras para el subtrópico y el semiárido central de la Argentina. (INTA Ediciones: Buenos Aires). ISBN-978-987-521-551-1.
- Ávila R, Quiroga E, Ferrando C y Blanco L (2008) Contenido de proteína bruta de los componentes morfológicos de gramíneas megatérmicas introducidas en el Chaco Arido. *Revista Argentina de Producción Animal* **28** Supl. 1, 471-472.
- Berger J, Palta J, Vadez V (2016) An integrated framework for crop adaptation to dry environments: Responses to transient and terminal drought. *Plant Science* **253**, 58-67.
- Blanco L, Namur PR, Adaro A, Pizarro S, Ferrando C, Ávila R, Molina J, Luna Toledo E, Vera J, Sancho A, Agüero W (2019) Respuesta forrajera del pastizal natural al ajuste de carga ganadera y al manejo rotativo con pasturas: Caso "La Yesera" (La Rioja). Libro de resúmenes Primer Congreso Argentino de Agroecología, (Ed. Universidad Nacional de Cuyo: Mendoza, Argentina) pp. 1423. ISBN 978-987-575-210-8.
- Blanco LJ, Oriente EL (2003) Efecto de dos tratamientos de defoliación sobre la producción de forraje de *Trichloris crinita*. *Revista Argentina de Producción Animal* **23**, 81-89.
- Blumenthal DM, LeCain DR, Porensky LM, Leger EA, Gaffney R, Ocheltree TW, Pilmanis AM (2021) Local adaptation to precipitation in the perennial grass *Elymus elymoides*: Trade-offs between growth and drought resistance traits. *Evolutionary Applications* **14**, 524-535.
- Bonarota MS, Kosma DK, Barrios-Masias FH (2022) Salt tolerance mechanisms in the *Lycopersicon* clade and their trade-offs. *AoB Plants* **14**, plab072.
- Burkart R, Bárbaro NO, Sánchez RO, Gómez DA (1999) Eco-regiones de la Argentina. APN, PRODIA. Pp 43.
- Cavagnaro PF, Cavagnaro JB, Lemes JL, Masuelli RW, Passera CB (2006) Genetic diversity among varieties of the native forage grass *Trichloris crinita* based on AFLP markers, morphological characters, and quantitative agronomic traits. *Genome* **49**, 906-918.

- Chapman DF, Wims CM, Rossi L, Griffiths WM, Lee JM, Kuhn-Sherlock B (2022) Combining perennial ryegrass cultivars in seed mixtures confers limited and situation-specific benefits for dairy pasture productivity. *New Zealand Journal of Agricultural Research* **65**, 334-354.
- Cohen J (1965) Some statistical issues in psychological research. In 'Handbook of Clinical Psychology' (Ed B B Wolman) pp. 95-121. (McGraw-Hill: New York).
- Dalmasso, AD (1994) Fenología de cinco gramíneas nativas de interés forrajero *Pappophorum caespitosum*, *Trichloris crinita*, *Setaria leucopila*, *Digitaria californica* y *Diplachne dubia*. *Mulitequina* **3**, 9-34.
- De Martonne E (1926) L'indice d'aridité. *Bulletin de l'Association de géographes français* **3**, 3-5.
- de Villemereuil P, Gaggiotti O, Mouterde M, Till-Bottraud, I (2016). Common garden experiments in the genomic era: new perspectives and opportunities. *Heredity* **116**, 249-254.
- Dominguez DLE, Namur PR, Cavagnaro PF (2021) Effect of sowing rate and date on establishment and growth of *Trichloris crinita* a native American pasture grass from arid environments, in the Arid Chaco of Argentina. *Tropical Grasslands* **9**, 268-279.
- Garden DL, Waters CM, Smith AB, Norton MR, Auricht GC, Kobelt E (2005) Performance of native and introduced grasses for low-input pastures. 2. Herbage production. *The Rangeland Journal* **27**, 41-53.
- Gil Báez C, Agüero RO, Ernst RD, Ruiz MA (2015) Caracterización morfológica, biomasa aérea y calidad en distintas poblaciones de *Trichloris crinita*. *Archivos de Zootecnia* **64**, 49-56.
- Gonzalez ME, Ernst RD y Ruiz MA (2021) Aptitud para la implantación y supervivencia de gramíneas forrajeras estivales nativas y exóticas en la provincia de La Pampa, Argentina. *Semiárida* **31**, 21-31.
- Greco SA, Cavagnaro JB (2003) Effects of drought in biomass production and allocation in three varieties of *Trichloris crinita* (*Poaceae*) a forage grass from the arid Monte region of Argentina. *Plant Ecology* **164**, 125-135.
- Greco SA, Cavagnaro JB (2005) Growth characteristics associated with biomass production in three varieties of *Trichloris crinita* (*Poaceae*), a forage grass native to the arid regions of Argentina. *The Rangeland Journal* **27**, 135-142.
- Griffa S, López Colomba E, Tommasino E, Avila RE, Leal KV, Ferrando CA, Ribotta A, Carloni E, Grunberg K (2017) Evaluación preliminar de la producción de materia seca en nuevo germoplasma de *Cenchrus ciliaris*. *Revista Argentina de Producción Animal* **37** Supl. 1, 132.
- Guevara JC, Bertiller MB, Estevez OR, Grünwaldt EG, Allegretti LI (2006) Pastizales y producción animal en las zonas áridas de Argentina. *Science et changements planétaires Sécheresse* **17**, 245-256.
- INDEC (2021) Censo Nacional Agropecuario 2018: resultados definitivos. (Instituto Nacional de Estadística y Censos) pp. 747. ISBN 978-950-896-607-0.
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. (2020) InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Jones TA (2003) The Restoration Gene Pool concept: beyond the native vs. non-native debate. *Restoration Ecology* **11**, 281-290.
- Kloster D, Ruiz MA, Ernst RD (2016) Germinación y crecimiento inicial de poblaciones de *Trichloris crinita* (Lag.) Parodi ante condiciones de estrés hídrico. *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam* **26**, 39-54.
- Lakens D (2013) Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology* **4**, 863.
- Lauenroth WK, Sala OE (1992) Long-term forage production of North American shortgrass steppe. *Ecological Applications* **2**, 397-403.
- Le Houérou HN (1984) Rain use efficiency: a unifying concept in arid-land ecology. *Journal of Arid Environments* **7**, 213-247.
- Le Houérou HN, Bingham RL, Skerbek W (1988) Relationship between the variability of primary production and the variability of annual precipitation in world arid lands. *Journal of arid Environments* **15**, 1-18.
- Leonhardt DA, Blain G (2019) Pasto llorón. En 'Forrajeras cultivadas anuales y perennes más difundidas en la provincia de La Pampa' (Ed. F Kent) pp. 41-46. (INTA Ediciones: Buenos Aires).
- Llorens EM (2011) Manejo de los pastizales. En 'Caracterización y manejo de los pastizales del centro de La Pampa'. Subsecretaría de Asuntos Agrarios. Ministerio de la Producción. Gobierno de La Pampa.
- Marinoni LDR, Richard GA, Bustos D, Taleisnik EL, Pensiero JF, Zabala JM (2020) Differential response of *Trichloris* ecotypes from different habitats to drought and salt stress. *Theoretical and Experimental Plant Physiology* **32**, 213-229.
- Marshall VM, Lewis M, Ostendorf B (2012) Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) as an invader and threat to biodiversity in arid environments: a review. *Journal of Arid Environments* **78**, 1-12.
- Mora S (2009) Herramientas de manejo para la producción de semillas de calidad de *Trichloris crinita* (Lag) Parodi. Tesis de Magister en Ciencias Agropecuarias mención Tecnología de Semillas. Escuela para graduados, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Namur PR (2017) Variabilidad interpoblacional del éxito de implantación y establecimiento de *Trichloris crinita* en un suelo salino. *Revista Argentina de Producción Animal* **37** Supl. 1, 124.
- Namur P, Tessi J, Ávila R, Rettore A, Ferrando C (2014) Buffel Grass: generalidades, implantación y manejo para recuperación de áreas degradadas. (INTA Ediciones: Buenos Aires).
- Olson DM, Dinerstein E, Wikramanayake ED, Burgess ND, Powell GV, Underwood EC, D'amico JA, Itoua I, Strand HE, Morrison JC, Loucks CJ, Allnutt TF, Ricketts TH, Kura Y, Lamoreux JF, Wettengel WW, Hedao P, Kassem KR (2001) Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides

- an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience* **51**, 933-938.
- Oñatibia GR, Amengual G, Boyero L, Aguiar MR (2020) Aridity exacerbates grazing-induced rangeland degradation: A population approach for dominant grasses. *Journal of Applied Ecology* **57**, 1999-2009.
- Ordinola Agüero RN, Gil Báez CA, Ruiz MA, Ernst RD (2012) Capacidad germinativa de poblaciones de *Trichloris crinita* de La Pampa bajo condiciones de salinidad. *Análisis de Semillas* **6**, 68-73.
- Paredes S, Lehr F (2019) Mijo perenne. En 'Forrajes cultivadas anuales y perennes más difundidas en la provincia de La Pampa'. (Ed: F Kent) pp 37-39. (INTA Ediciones: Buenos Aires).
- Pensiero JF, Zabala JM (2017) Recursos fitogenéticos forrajeros nativos y naturalizados para los Bajos Submeridionales: prospección y priorización de especies para planes de introducción a cultivo. *Revista Fave. Sección ciencias agrarias* **16**, 67-98.
- Právělie R, Patriche C, Bandoc G (2017) Quantification of land degradation sensitivity areas in Southern and Central Southeastern Europe. New results based on improving DISMED methodology with new climate data. *Catena* **158**, 309-320.
- Quiroga RE (2022) Variabilidad intraespecífica regional y continental en *Trichloris crinita* (Poaceae): aspectos de su nicho ecológico y diferenciación genética relevantes para la restauración de pastizales. Tesis de Doctorado, área de Ciencias Agropecuarias. Escuela para Graduados, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Quiroga RE, Ávila R, Ferrando C, Blanco L (2008) Dinámica de la calidad y de material verde en los componentes morfológicos de dos gramíneas nativas del Chaco Árido. *Revista Argentina de Producción Animal* **28** Supl. 1, 484-485.
- Quiroga RE, Fernández RJ, Golluscio RA, Blanco LJ (2013) Differential water-use strategies and drought resistance in *Trichloris crinita* plants from contrasting aridity origins. *Plant Ecology* **214**, 1027-1035.
- Quiroga RE, Golluscio RA, Blanco LJ, Fernández RJ (2010) Aridity and grazing as convergent selective forces: an experiment with an Arid Chaco bunchgrass. *Ecological Applications* **20**, 1876-1889.
- Richardson JT (2011) Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research. *Educational Research Review* **6**, 135-147.
- Rossi CA (2005) Utilización del "buffel grass" (*Cenchrus ciliaris*) para la recuperación de pastizales degradados en la región árida subtropical. (Cátedra de Forrajicultura, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Buenos Aires, Argentina).
- Sage R (2004) The evolution of C4 photosynthesis. *New Phytologist* **161**, 341-370.
- Sal JD (1989) Evaluation and adaptability of different biotypes of *Trichloris crinita* (Poaceae) in Catamarca, Argentina. Thesis. New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico, USA.
- Sala OE, Austin AT (2000) Methods of estimating aboveground net primary productivity. *Methods in ecosystem science*. Pp. 31-43. (Springer: Nueva York).
- SAS Institute (2011) SAS/STAT 9.3 User's guide: mixed modeling (book excerpt). SAS Institute, Cary, USA.
- Scherer, T. F., Seelig, B., Franzen, D. (1996) 'Soil, water and plant characteristics important to irrigation'. (NRCS Publications: Washington, DC, USA).
- Schrauf GE, Alonso Nogara F, Rush P, Roa PP, Musacchio E, Ghio S, Spangenberg G (2021) Genetic improvement of perennial forage plants for salt tolerance. In 'Saline and Alkaline Soils in Latin America'. (Eds. E Taleisnik, RS Lavado) pp.399-414. (Springer Nature: Switzerland).
- Schrauf GE, Picardi LA, Naranjo CA, Favret E, Pahlen A, Robutti JL (1996) Deducción de las causas de variación isoenzimática a partir de los patrones actuales en *Pappophorum caespitosum* RE Fr. y *P. philippianum* Parodi. Informe Técnico 312. (INTA EEA Pergamino).
- Stritzler NP (2008) Producción y calidad nutritiva de especies forrajeras. *Revista Argentina de Producción Animal* **28**, 165-168.
- Stritzler NP, Petrucci HJ, Frasinelli CA, Veneciano JH, Ferri CM, Viglizzo EF (2007) Variabilidad climática en la Región Semiárida Central Argentina. Adaptación tecnológica en sistemas extensivos de producción animal. *Revista Argentina de Producción Animal* **27**, 113-125.
- Trione SO, Cavagnaro JB (1998) Water shortage and associated changes in organic nitrogen between *Pappophorum caespitosum* (Gramineae) provenances. *Journal of Arid Environments* **38**, 519-528.
- Wu KK, Jain SK (1978) Genetic and plastic responses in geographic differentiation of *Bromus rubens* populations. *Canadian Journal of Botany* **56**, 873-879.
- Zabala JM, Widenhorn P, Pensiero JF (2011) Germination patterns of species of the genus *Trichloris* in arid and semiarid environments. *Seed Science and Technology* **39**, 338-353.