

Análisis de variabilidad en caracteres asociados a la implantación y la producción de forraje y semillas en poblaciones naturales de *Pappophorum vaginatum*

Tesis Doctoral

Tesista: Ing. Agr. Lisandro José Entio

Director: Dr. Carlos Alberto Busso
Co-Director: Prof. María de la Merced Mujica
Asesor Académico: Dr. Eduardo Tambussi

La Plata, octubre de 2019
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
Universidad Nacional de La Plata

A mi padre y madre...

A mi hermana...

A mi compañera de vida...

A Jazmín...

AGRADECIMIENTOS

Si bien el desarrollo de una investigación doctoral es un proceso principalmente individual, quiero aprovechar esta sección de la tesis para resaltar el entramado colectivo de personas e instituciones que posibilitaron su realización y conclusión.

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento y rendirle este pequeño homenaje a mi mentora y formadora en este camino académico, la Prof. María de la Merced Mujica o simplemente *Merce*, ya que nada de esto se explicaría sin ella.

Merce, comenzó a desandar la disciplina del fitomejoramiento desde antes de recibirse cuando optó por la orientación en fitotecnia en su camino para la obtención al título de Ingeniera Agrónoma en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires que finalmente logró en 1979. Ya al año siguiente dio inicio a su trayectoria académica en la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata, primero en la cátedra de Genética y Mejoramiento Animal y Vegetal, donde llegó a ser Profesora Adjunta; y luego dejando este espacio para dar inicio a la construcción de la nueva cátedra Int. al Mejoramiento Genético (surgida con el Plan 7 en 1999) donde llegó a cumplir uno de sus sueños: ganar el concurso para Profesora Titular. Paralelamente, durante muchos años, se desempeñó en el plantel técnico del Ministerio de Asuntos Agrarios de la provincia de Buenos Aires.

En sus más de 30 años de trabajo, su trayectoria académica se vio canalizada a través de la dirección de distintos proyectos que, basados en la investigación aplicada al mejoramiento genético, posibilitaron no sólo la realización de numerosas publicaciones, sino también la formación de recursos humanos (docentes-investigadores, becarios/tesistas de grado y posgrado, pasantes) muchos de los cuales actualmente se encuentran exitosamente posicionados en distintos espacios laborales de organismos estatales (INTA, CONICET y UNLP) o privados. En cuanto al fitomejoramiento, entre otras actividades específicas, se destaca su rol como técnica obtentora de tres variedades de *Lotus tenuis* cuya propiedad intelectual pertenece a la UNLP y que, licenciadas con diferentes empresas para su explotación comercial, desde hace casi 15 años posicionan a esta institución en un lugar de privilegio dentro del mercado de semillas de esta especie en nuestro país y en los últimos años también en Uruguay.

Como mencionaba anteriormente, tampoco desde lo personal se podría explicar esta historia sin *Merce*. Fue ella la que creyó en este proyecto y me invitó a recorrer esta experiencia que me permitió encontrarme y hacer lo que amo, fue quién me mostró que los límites existen sólo para ser superados y fue faro permanente para encontrar las salidas de las "zonas de confort", además de apoyarme de manera personal e institucional para que pudiera desarrollar esta investigación.

Le agradezco a *Merce* por confiar en mi y por sostenerme en los momentos más difíciles. Admiro su nobleza, su franqueza, su generosidad, su ejemplo de mujer luchadora sin descanso en pos de lograr sus sueños y su infinito compromiso con la educación pública, gratuita y de excelente calidad por el cual entregó su vida.

III

Quiero agradecer también al Dr. Carlos Busso por su apoyo personal e institucional y por haberme mostrado con gran calidez, cordialidad, simpleza y calidad que siempre se puede seguir mejorando. Carlos, muchas gracias por tu dirección, compromiso y por acompañarme con tus minuciosos aportes en este recorrido.

Agradezco también al Dr. Eduardo Tambussi por su apoyo como Asesor Académico.

De manera muy especial quiero mencionar y agradecer a todo el equipo de la Chacra Experimental Patagones - MA-BA (Gustavo Rodríguez, Damián Ponce, Fernando, Adrián y "Simpa") que encabezados por el Ing. Agr. Hugo Giorgetti, desde mi primera visita me recibieron con gran amabilidad y calidez, y siempre estuvieron a disposición para lo que precisara en mis estadías Patagónicas. A ellos, muchas gracias por su colaboración, generosidad y por haberme hecho sentir como en casa.

Al Lic. Rodrigo Altamirano (Estadística y Biometría, Fac. Cs. Agrarias y Forestales-UNLP) gracias por su amabilidad, paciencia y generosidad para el asesoramiento estadístico en todo momento. Rodri, fue fundamental la confianza que adquirí en los análisis estadísticos con tu asesoramiento.

Gracias a todo el equipo de Bioquímica y Fitoquímica (Fac. Cs. Agrarias y Forestales-UNLP) quienes, además de brindar el servicio para realizar los análisis de calidad de los materiales estudiados, me recibieron con gran amabilidad, calidez e insuperables cafés durante las maratónicas jornadas de uso de las balanzas. Al equipo del Laboratorio de Edafología (Fac. Cs. Agrarias y Forestales-UNLP) y al de la sección de Agrometeorología de la Estación Experimental J. Hirschhorn (Fac. Cs. Agrarias y Forestales-UNLP) por la celeridad con la que resolvieron mis pedidos de análisis de suelo e información climática, respectivamente. Al equipo del Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE), especialmente al Dr. Eduardo Tambussi, por poner a mi disposición el instrumental necesario para la medición de intensidad lumínica siempre que lo necesité y al Dr. Juan José Guiamet por apoyarme en mi presentación a la Beca Fulbright.

También quiero agradecer de manera especial a mis compañeras de cátedra (Int. Mejoramiento Genético, Fac. Cs. Agrarias y Forestales-UNLP) (Ings. Agrs. María Laura Bravo, Yanina Yalungo, María Isabel Lissarrague y Dra. Vanesa Ixtaina) por todos estos años de crecimiento personal y profesional compartido, mi respeto y admiración hacia ustedes.

Agradezco a la Ing. Agr. Marina Sisterna (CIDEFI, Fitopatología - Fac. Cs. Agrarias y Forestales, UNLP) por su colaboración en la identificación de hongos en las semillas; al Dr. Nestor Bayón (Sistemática Vegetal, Fac. Cs. Agrarias y Forestales – UNLP) por su colaboración en la identificación de materiales de la especie estudiada; a Walter, del Equipo de Mantenimiento y Producción (Fac. Cs. Agrarias y Forestales-UNLP), por el armado e instalación de una de las lámparas utilizadas para los estudios; al equipo de Ecología de la Universidad Nacional del Sur, especialmente a las Dras. Yanina Torres, Daniela Cardillo y Leticia Ithurrart que, aunque nos conocimos poco, siempre me recibieron con mucha amabilidad cuando nos encontramos en el laboratorio y/o en el campo; a la Mg. Andrea Flemmer (Botánica General, Morfología Vegetal – Universidad Nacional del Sur) por su amabilidad y generosidad para el asesoramiento cuando lo necesité y a todos aquellos colegas (Ing. Agr. Gladys Chilo, Ph.D. Pablo Speranza, Ing. Agr. Victor Bolaños, Ing. Agr. Estefanía Lucero, Ing. Agr. Francisco Blazquez, entre otros) que a partir de charlas compartidas sobre nuestras investigaciones de alguna manera me ayudaron a repensar/mejorar la tarea.

IV

Agradezco también a las evaluadoras de la tesis (Dras. Mónica Aulicino, Luciana Ghermandi y Carolina Pérez) que con sus valiosas observaciones enriquecieron la versión final de este manuscrito.

En cuanto a lo institucional quiero agradecer a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales - Universidad Nacional de La Plata (donde me formé en grado y posgrado en una educación pública y gratuita de calidad y donde tengo la posibilidad de ser parte del equipo docente), por el apoyo económico, material y personal para la realización de esta tesis; al Programa de Incentivos para Docentes-Investigadores de la Secretaría de Políticas Universitarias (Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología) que a través de la Universidad Nacional de La Plata (Fac. Cs. Agrarias y Forestales, Cát. Int. Mejoramiento Genético) facilitó recursos económicos para llevar adelante esta investigación, del mismo modo que el CONICET a través de los Proyectos de Investigación Plurianuales (PIP); y a la Comisión Fulbright, Fundación Bunge y Born y Fundación Williams por la co-financiación de una beca de investigación doctoral que me permitió realizar una estadía en el Texas A&M AgriLife Center at Stephenville.

Por último, a modo personal quiero agradecer a mi familia por todo el cariño y por haberme ayudado a consolidarme en mis búsquedas; a los amigos por las charlas, los consejos y la comprensión en las ausencias; y muy especialmente a la persona que con su luz le da sentido a mi vida, quién con sus palabras siempre positivas, apoyo incondicional, contención, paciencia y afecto hace que sea cada vez más yo. Gracias Josefina por hacer de mí cada día una mejor persona. Ocupás un lugar esencial en todos mis logros.

RESUMEN

En Argentina gran parte de la actividad de producción de ganado de carne se desarrolla en zonas áridas-semiáridas (75% del territorio continental) y se basa en el pastoreo de la vegetación nativa. Así, los pastizales naturales son importantes tanto como factor de producción, como por ser reservorio de biodiversidad cumpliendo un servicio ecológico o ambiental con el consecuente impacto socio-económico. Específicamente en la región de estudio (sur de la provincia fitogeográfica del Monte), *Pappophorum vaginatum* es una especie clave por ser una de las pocas gramíneas perennes nativas abundante en la primavera y verano. No obstante esta situación, su exposición al sobrepastoreo la ha convertido en una especie decreciente. Por ello, el incremento de la abundancia de *P. vaginatum* en los pastizales sería importante no sólo para aumentar la disponibilidad de forraje para el ganado sino también para recuperar y mantener la biodiversidad.

En esta investigación se realizaron estudios en condiciones semicontroladas (Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, La Plata, Buenos Aires, Argentina) y a campo (Chacra Experimental Patagones-MA, Buenos Aires, Argentina). Los objetivos fueron: 1) explorar, recolectar y evaluar germoplasma nativo de *P. vaginatum* de la región del Monte, y crear y mantener una colección abierta; 2) determinar variabilidad para (a) germinación, (b) vigor de planta, (c) producción y calidad de forraje, (d) producción y calidad de semillas y (e) capacidad de resiembra entre y dentro de poblaciones; y 3) estimar parámetros genéticos en caracteres de interés agronómico para la mejora de la implantación y de la producción y calidad de forraje y semillas.

Con las semillas de las poblaciones recolectadas (n=6) se conformó una colección de trabajo. De los estudios en condiciones semicontroladas, se observó variabilidad en la respuesta germinativa y en la emergencia, y un efecto positivo de la luz y de la ausencia de las coberturas (lemma y pálea) sobre la germinación de las cariósides de las poblaciones estudiadas. El vigor de planta tuvo variabilidad intrapoblacional, aunque algunos caracteres correlacionados también presentaron variabilidad interpoblacional. Del estudio a campo, se observó variabilidad inter e intrapoblacional, valores altos de heredabilidad y una relación entre el coeficiente de variabilidad genético y el ambiental mayor a 1 para varios caracteres vinculados a: la implantación, la producción y calidad de forraje y semillas, y la capacidad de resiembra. También se observaron asociaciones entre dichos caracteres.

Por lo expuesto, los factores luz y coberturas de la cariósida deberían ser considerados al momento de manejar la implantación y resiembra natural de la especie. Por otra parte, tanto las expectativas de lograr algún avance genético como la posibilidad de diseñar estrategias de selección indirecta en un programa de selección de *P. vaginatum* serían promisorias para varios de los caracteres estudiados.

ABSTRACT

In Argentina, a large part of the beef cattle production activity takes place in arid-semiarid zones (75% of the continental territory) and is based on native vegetation grazing. Thus, natural grasslands are important both as a factor of production and as a reservoir of biodiversity, thus fulfilling an ecological or environmental service with the subsequent socio-economic impact. Specifically, in the studied region (south of the Monte phytogeographical province), *Pappophorum vaginatum* is a key species for being one of the few native perennial grasses abundant during spring and summer. However, this situation exposes it to overgrazing, and is currently considered a decreasing species. Thus, increasing the abundance of *P. vaginatum* into the grasslands would be important not only to increase cattle forage availability but also to recover and maintain biodiversity.

In this research studies were conducted under both semicontrolled (Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, La Plata, Buenos Aires, Argentina) and field conditions (Chacra Experimental Patagones-MA, Buenos Aires, Argentina). The objectives of this study were: 1) to explore, collect and evaluate native germplasm of *P. vaginatum* at the Monte region and to create and maintain an open collection; 2) to determine variability for (a) germination, (b) plant vigor; (c) forage production and quality; (d) seed production and quality, and (e) reseeding capacity among and within populations; and 3) to estimate genetic parameters on characters of agronomic interest for the improvement of the implantation, and the production and quality of forage and seeds.

An open collection was made with the seeds of the collected populations (n=6). From semicontrolled conditions studies it was observed variability in the germination and in seedling emergence responses, and a positive effect of light and the absence of coverages (lemma and pálea) on the caryopsis germination of the studied populations. Plant vigor had intrapopulation variability, although some correlated characters also showed interpopulation variability. From field studies, it was observed inter and intrapopulation variability, high values of heritability, and a coefficient of genetic / environmental variability ratio greater than 1 for several characters associated with: the implantation, production and quality of forage and seeds, and the reseeding capacity. Associations among these characters were also observed.

Light conditions and the coverages of the caryopsis should be considered for managing of the implantation and the natural reseeding of this species. Moreover, both the expectations of achieving a genetic advance and the possibility of designing strategies of indirect selection in a *P. vaginatum* breeding program would be promisory for several of the studied characters.

	Página
Agradecimientos.....	II
Resumen.....	V
Abstract.....	VI
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Hipótesis.....	4
CAPÍTULO 2.....	5
ÁREA DE ESTUDIO.....	5
2.1 Clima.....	6
2.2 Suelo.....	8
2.3 Vegetación.....	8
2.4 Caracterización de la especie en estudio.....	9
CAPÍTULO 3.....	12
EXPLORACIÓN, RECOLECCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE GERMOPLASMA.....	12
3.1 Exploración, recolección y almacenamiento.....	12
3.2 Colección.....	13
CAPÍTULO 4.....	14
GERMINACIÓN.....	14
4.1 Efecto de la luz sobre la germinación.....	14
4.1.1 Introducción.....	14
4.1.2 Materiales y métodos.....	15
4.1.3 Resultados.....	18
4.1.4 Discusión.....	22
4.2 Efecto de la luz y las coberturas sobre la germinación.....	24
4.2.1 Introducción.....	24
4.2.2 Materiales y métodos.....	25
4.2.3 Resultados.....	27
4.3.4 Discusión.....	30
CAPÍTULO 5.....	33
VARIABILIDAD Y CORRELACIONES EN CARACTERES DETERMINANTES DEL VIGOR DE PLANTA.....	33
5.1 Introducción.....	33
5.2 Materiales y métodos.....	34
5.3 Resultados.....	35
5.4 Discusión.....	37

VIII

CAPÍTULO 6.....	40
CARACTERES ASOCIADOS A LA IMPLANTACIÓN Y PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FORRAJE Y SEMILLAS.....	40
6.1 Introducción.....	40
6.2 Materiales y métodos.....	42
6.3 Resultados.....	50
6.4 Discusión.....	82
CAPÍTULO 7.....	92
ASOCIACIONES ENTRE CARACTERES RELACIONADOS A LA IMPLANTACIÓN, PRODUCCIÓN DE FORRAJE, Y PRODUCCION Y CALIDAD DE SEMILLAS.....	92
7.1 Introducción.....	92
7.2 Materiales y métodos.....	93
7.3 Resultados.....	97
7.4 Discusión.....	107
CAPÍTULO 8.....	111
PARÁMETROS GENÉTICOS DE CARACTERES DE INTERÉS AGRONÓMICO.....	111
8.1 Introducción.....	111
8.2 Materiales y métodos.....	112
8.3 Resultados.....	116
8.4 Discusión.....	119
CAPÍTULO 9.....	122
SÍNTESIS, CONCLUSIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS.....	122
BIBLIOGRAFÍA.....	130
ANEXO I: Tablas de ANOVA para las variables estudiadas.....	146
ANEXO II: Publicaciones derivadas de la tesis	173

Figura 2.1. Ubicación del sitio de estudio: (a) y (b) imágenes tomadas en mayo de 2018, Google Earth Pro, 7.3.1.4507).....	5
Figura 2.2. Detalle del diseño del ensayo de campo realizado en la Chacra Experimental Patagones. En cada bloque (bloque I, bloque II) se muestran la distribución de las plantas en cada una de las 4 parcelas (P1 a P4) sorteadas al azar. Dentro de cada bloque, hubo 6 columnas y 9 filas por parcela (54 plantas por parcela). Alrededor de todas las parcelas se mantuvo una zona de 1 m sin vegetación durante el estudio. Su objetivo fue mantener dicha zona sin competencia radical desde las plantas allí existentes. Las malezas fueron periódicamente removidas de dicha zona.....	6
Figura 2.3. Datos registrados por la estación meteorológica de la Chacra Experimental Patagones de: (a) precipitación y evapotranspiración (EPT) media mensual, (b) precipitación y evapotranspiración (EPT) media anual, (c) temperatura del aire máxima, mínima y media mensual, (d) temperatura del aire máxima, mínima y media anual, (e) humedad relativa media mensual, (f) humedad relativa media anual. Los valores graficados en (a), (b), (c), (d), (e) y (f) corresponden al período 1981-2016, excepto en (a) donde se observa la precipitación mensual durante los años del estudio (2014, 2015 y 2016). Las líneas verticales indican el error estándar de la media.....	7
Figura 2.4. Paisaje en un área de gran abundancia de plantas de <i>P. vaginatum</i> en el estrato herbáceo.....	9
Figura 2.5. <i>Pappophorum vaginatum</i> : (a) plantas, (b) panojas, (c) antecio y (d) carióspsides.....	11
Figura 3.1. Ubicación geográfica de los sitios de recolección de las poblaciones de <i>P. vaginatum</i> y rutas principales recorridas (imagen tomada en mayo 2018, Google Earth Pro, 7.3.1.4507).....	13
Figura 4.1. Germinación acumulada (%) después de la imbibición de las carióspsides de dos poblaciones de <i>P. vaginatum</i> (P1, P2) expuestas a dos condiciones de luz (L0=oscuridad continua; L1=14 h luz/10 h oscuridad). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre condiciones de luz dentro de cada población (panel superior), o entre poblaciones dentro de cada condición de luz (panel inferior) después de la prueba de Diferencia Mínima Significativa de Fisher.....	19
Figura 4.2. Germinación acumulada (%) después de la imbibición de las carióspsides de dos poblaciones de <i>P. vaginatum</i> (P1, P2) expuestas a dos condiciones de luz (L0=oscuridad continua; L1=14 h luz/10 h oscuridad). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre fechas de muestreo (F) dentro de cada tratamiento de luz (panel superior) o entre tratamientos de luz dentro de cada fecha de muestreo (panel inferior) después de la prueba de Diferencia Mínima Significativa de Fisher.....	20
Figura 4.3. Germinación acumulada (%) después de la imbibición de las carióspsides de dos poblaciones de <i>P. vaginatum</i> (P1, P2) expuestas a dos condiciones de luz (L0=oscuridad continua; L1=14 h luz/10 h oscuridad). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre fechas de muestreo (F) dentro de cada población (panel superior) o entre poblaciones dentro de cada fecha de muestreo (panel inferior) después de la prueba de Diferencia Mínima Significativa de Fisher....	21

- Figura 4.4.** Germinación acumulada (%) 16 días después de la imbibición de las cariósides de cuatro poblaciones de *P. vaginatum* (P1, P2, P5, P6) expuestas a dos condiciones de luz (L0=oscuridad continua; L1=12 h luz/12 h oscuridad) y dos condiciones de coberturas (con y sin). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Prueba de Tukey.....29
- Figura 4.5.** Germinación acumulada (%) en cuatro fechas después de la imbibición de las cariósides (3, 7, 12 y 16 días) de cuatro poblaciones de *P. vaginatum* (P1, P2, P5, P6) expuestas a dos condiciones de coberturas (con y sin). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Prueba de Tukey.....30
- Figura 6.1.** Paisajes típicos en los sitios de recolección de semillas de las poblaciones (P1, P2, P3, P4) estudiadas.....43
- Figura 6.2.** Parámetros germinativos de cariósides de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum* recolectadas en la región semiárida de la provincia de Buenos Aires. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=5$. Letras diferentes dentro de cada parámetro indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.....51
- Figura 6.3.** Emergencia acumulada (%) de plántulas en cinco fechas (11, 14, 17, 20 y 25 días) después de la siembra (23/08/2013) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Letras diferentes dentro de cada fecha indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones ($n=30$). Prueba de Tukey.....52
- Figura 6.4.** Índice de velocidad de emergencia de plántulas en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=30$. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.....52
- Figura 6.5.** Número de macollas reproductivas (Totales y Grado 1: botón floral; Grado 2: < 50 % de panoja emergida; Grado 3: > 50 % de panoja emergida; Grado 4: 100 % de panoja emergida inmadura; Grado 5: 100 % de panoja emergida madura) por planta registrados al inicio de fructificación (10/12/2013) en el año de implantación en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Letras diferentes a la izquierda de la coma dentro del Total y de cada Grado indican diferencias significativas entre poblaciones [cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=108$]. Letras diferentes a la derecha de la coma indican diferencias significativas entre distintos estadíos fenológicos dentro de cada población. Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Note la diferencia de escala entre paneles.....54
- Figura 6.6.** Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en el número de macollas reproductivas (Totales y Grado 1: botón floral; Grado 2: < 50 % de panoja emergida; Grado 3: > 50 % de panoja emergida y Grado 4: 100 % de panoja emergida inmadura) por planta registrados al inicio de la fructificación (10/12/2013) en el año de implantación (25/10/2013) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=12$. Letras diferentes (dentro del Total y de cada Grado) dentro de cada población indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de las parcelas. Prueba de Tukey. Note la diferencia de escala entre paneles.....55
- Figura 6.7.** Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en el número de macollas reproductivas Totales (100 % Grado 5) por planta registrado en una etapa más avanzada de la fructificación (11/02/2014) en el año de implantación (25/10/2013)

en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=12$. Letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p\leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.56

Figura 6.8. Número de macollas reproductivas totales (100% Grado 5) por planta registrados en una etapa más avanzada de la fructificación (11/02/2014) en el año de implantación en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=108$. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p\leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.56

Figura 6.9. Área basal (cm^2) al finalizar el año de implantación (17/09/2014) en plantas de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=103$. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p\leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.....57

Figura 6.10. Área basal (cm^2) al inicio de floración (05/11/2014) en el 2do año desde la implantación (25/10/2013) en plantas de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=102$. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p\leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.58

Figura 6.11. Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en el área basal (cm^2) al finalizar el año de implantación (17/09/2014) y al inicio de floración (05/11/2014) en el 2do año desde la implantación (25/10/2013) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=12$. Para cada panel, letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p\leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.59

Figura 6.12. Número de macollas con hojas verdes por planta al inicio de la segunda temporada de crecimiento (17/09/2014) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=103$. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p\leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.60

Figura 6.13. Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en el número de macollas con hojas verdes por planta al inicio de la segunda temporada de crecimiento (17/09/2014) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=12$. Letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p\leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.60

Figura 6.14. Longitud de la lámina más larga por planta (cm) al inicio de la segunda temporada de crecimiento (17/09/2014) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=103$. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p\leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.61

Figura 6.15. Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en la longitud de la lámina más larga por planta (cm) al inicio de la segunda temporada de crecimiento (17/09/2014) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=12$. Letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p\leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.61

- Figura 6.16.** Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en la altura de planta (cm) al inicio de floración (05/11/2014) en el 2do año desde la implantación en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=12. Letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.62
- Figura 6.17.** Altura de planta (cm) al inicio de floración (05/11/2014) en el 2do año desde la implantación en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=102. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.63
- Figura 6.18.** Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en el número de macollas reproductivas Totales y Grado 1 (botón floral) al inicio de floración (05/11/2014) en el 2do año desde la implantación en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=12. Para cada panel, letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.64
- Figura 6.19.** Número de macollas reproductivas (Totales; Grado 1: botón floral; y Grado 2: < 50 % de panoja emergida + Grado 3: > 50 % de panoja emergida + Grado 4: 100 % de panoja emergida inmadura + Grado 5: 100 % de panoja emergida madura) por planta al inicio de floración (05/11/2014) en el 2do año desde la implantación en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio de n=102 [para el Total se indica \pm 1 error estándar (barras verticales)]. Letras diferentes sobre y dentro de los histogramas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.65
- Figura 6.20.** Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en caracteres reproductivos registrados al inicio de fructificación (16/12/2014) en el 2do año en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=12. Para cada panel, letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey. Note las diferentes escalas entre paneles.....66
- Figura 6.21.** Caracteres reproductivos registrados al inicio de fructificación (16/12/2014) en el 2do año en plantas de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=102. Letras diferentes dentro de cada variable indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey. Note las diferentes escalas entre paneles.67
- Figura 6.22.** Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en el número de macollas vegetativas registrados al inicio de fructificación (16/12/2014) en el 2do año en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=12. Letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.....68
- Figura 6.23.** Número de macollas vegetativas por planta registradas al inicio de fructificación (16/12/2014) en el 2do año en cuatro (P1, P2, P3, P4) poblaciones de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de

- n=102. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.68
- Figura 6.24.** Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en la producción de biomasa aérea (g MS / planta) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum* durante el primer periodo de aprovechamiento (4 cortes: Corte1 25/05/15; Corte 2 26/11/15; Corte 3 29/02/16 y Corte 4 06/06/16) después de la implantación (25/10/2013). Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=12. Para cada corte y para MS total acumulada, letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.70
- Figura 6.25.** Producción de biomasa aérea (g MS / planta) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum* durante el primer periodo de aprovechamiento [4 cortes: C1 25/05/15; C2 26/11/15; C3 29/02/16 y C4 06/06/16 (en cada corte se cortaron todas las plantas en cada parcela)] después de la implantación (25/10/2013). Cada histograma es el promedio de n=108 [para MS total acumulada se indica \pm 1 error estándar (barras verticales)]. Letras diferentes sobre los histogramas y dentro de cada sector de los mismos indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.71
- Figura 6.26.** Parámetros de calidad de la biomasa seca aérea de plantas de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum* en cuatro fechas de corte (C1: 25/05/15; C2: 26/11/15; C3: 29/02/16; C4: 06/06/16) desde la implantación (25/10/2013). Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=3. Letras diferentes dentro de cada panel indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Prueba de Tukey. Note las diferentes escalas entre paneles.74
- Figura 6.27.** Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en caracteres reproductivos registrados en plena fructificación (05/01/2016) en el 3er año en plantas de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=12. Letras diferentes dentro de cada variable indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey. Note las diferentes escalas entre paneles.....76
- Figura 6.28.** Caracteres reproductivos registrados en plena fructificación (05/01/2016) en el 3er año en plantas de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=102. Letras diferentes dentro de cada variable indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey. Note las diferentes escalas entre paneles.....79
- Figura 6.29.** Parámetros germinativos de semillas de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum* cosechadas en plena fructificación en el 3er año (05/01/2016). Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=6. Letras diferentes dentro de cada parámetro indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.80
- Figura 6.30.** Porcentaje de supervivencia de plantas en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum* al final del período estudiado. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=9. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones. Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). PH= población hipotética con 100% de supervivencia.81
- Figura 6.31.** Número de individuos por m² según las etapas (Implantación; Cosecha; Resiembra potencial) en la sucesión de plántulas implantadas-plántulas potenciales para la resiembra natural en el 3er año en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de

n=104. Letras diferentes dentro de cada etapa indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.	82
Figura 7.1. Comparación de las rectas de regresión (variables dummy) de la altura de planta (A) sobre la biomasa seca aérea total acumulada por planta (MST) de las poblaciones de <i>P. vaginatum</i> con menor (P3) y mayor (P2) valor de ordenada. Se muestran los valores individuales.	103
Figura 7.2. Comparación de las rectas de regresión (variables dummy) de la altura de planta (A) sobre el número de antecios por planta (Apl) determinado en dos fechas de muestreo: a) fecha (5) (16/12/2014: inicio de fructificación en el 2do año); b) fecha (8) (05/01/2016: plena fructificación en el 3er año), de las poblaciones de <i>P. vaginatum</i> con menor (P3) y mayor (P4) valor de ordenada. Se muestran los valores individuales.....	105
Figura 7.3. Comparación de las rectas de regresión (variables dummy) de la biomasa seca aérea parcial acumulada por planta (MS) sobre el número de antecios germinables por planta (AG) determinado en la fecha de muestreo (8) (05/01/2016: plena fructificación en el 3er año) de las poblaciones de <i>P. vaginatum</i> con menor (P3) y mayor (P4) valor de ordenada. Se muestran los valores individuales.....	107

Tabla 3.1. Partido (provincia) y coordenadas geográficas de los sitios de recolección de las poblaciones de <i>P. vaginatum</i>	13
Tabla 4.1. Valores promedio (± 1 EE) (n=4) de características del suelo en los sitios de estudio de las dos poblaciones (P1, P2) de <i>P. vaginatum</i> . Diferencias significativas entre poblaciones para cualquier parámetro de suelo se indican después de efectuar la prueba <i>t</i> de Student.....	16
Tabla 4.2. Resultados del análisis de varianza de tres vías examinando los efectos de días después de la imbibición de las cariósides, población y luz sobre el porcentaje de germinación acumulado de cariósides de <i>P. vaginatum</i> recolectadas en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires.....	18
Tabla 4.3. Valores promedio de varios parámetros de germinación en dos poblaciones (P1, P2) de <i>P. vaginatum</i> expuestas a condiciones de luz ($13,4 \pm 1,08 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$) a aproximadamente 24°C luego de 19 días desde su imbibición. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,01$) entre poblaciones después de la prueba de Diferencia Mínima Significativa de Fisher.....	22
Tabla 4.4. Resultados del análisis de varianza de cuatro vías examinando los efectos de días después de la imbibición de las cariósides, población, luz y coberturas sobre el porcentaje de germinación acumulado de cariósides de <i>P. vaginatum</i> recolectadas en el sudoeste de Buenos Aires y en el este de Rio Negro.....	28
Tabla 5.1. Variabilidad en caracteres vinculados al vigor de planta dentro y entre dos poblaciones (P1, P2) de <i>P. vaginatum</i> recolectadas en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Prueba de <i>t</i>	36
Tabla 5.2. Correlación de caracteres vinculados al vigor de planta (PST) en dos poblaciones (P1, P2) de <i>P. vaginatum</i> recolectadas en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (n=60). Coeficiente de correlación de Pearson.....	37
Tabla 5.3. Análisis de regresión múltiple (proceso de selección paso a paso hacia adelante) de los caracteres evaluados sobre el PST (n=60). El valor de <i>p</i> fue $\leq 0,01$ para ambas poblaciones.....	37
Tabla 6.1. Detalle de las fechas de muestreo y de los caracteres estudiados.....	47
Tabla 7.1. Detalle de las fechas de muestreo y de los caracteres estudiados.....	96
Tabla 7.2. Correlaciones entre caracteres asociados a la implantación, precocidad de crecimiento y producción de biomasa en cuatro poblaciones (P1: n= 98; P2: n= 101; P3: n= 102 y P4: n= 98) de <i>P. vaginatum</i> . Coeficiente de correlación de Pearson.....	99
Tabla 7.3. Correlaciones entre tres caracteres reproductivos registrados en la fecha de muestreo (5) (10/12/2014: inicio de fructificación en el 2do año) y entre los mismos tres caracteres pero registrados en la fecha de muestreo (8) (01/05/2016: plena fructificación en el 3er año) en plantas de cuatro poblaciones [P1(1): n= 102; P2 (1): n= 101; P3 (1) y P4 (1): n= 103; P1 (2): n= 104; P2 (2) y P4 (2): n= 102; P3 (2): n= 100] de <i>P. vaginatum</i> . Coeficiente de correlación de Pearson.	100
Tabla 7.4. Correlaciones entre caracteres reproductivos registrados en la fecha de muestreo (5) (10/12/2014: inicio de fructificación en el 2do año) vs. caracteres	

asociados a la implantación y precocidad de crecimiento [fechas de muestreo: (1) 10/12/2013; (3) 17/09/2014; y (4) 05/11/2014] de plantas de cuatro poblaciones (P1: n=98; P2: n=100; P3: n=102; P4: n=97) de <i>P. vaginatum</i> . Coeficiente de correlación de Pearson.....	100
Tabla 7.5. Correlaciones entre caracteres reproductivos registrados en la fecha de muestreo (8) (01/05/2016: plena fructificación en el 3er año) vs. caracteres asociados a la implantación, precocidad de crecimiento y producción de biomasa, de plantas de cuatro poblaciones (P1: n=98; P2: n= 101; P3: n= 97; P4: n= 97) de <i>P. vaginatum</i> . Coeficiente de correlación de Pearson.....	101
Tabla 7.6. Análisis de regresión múltiple (proceso de selección paso a paso hacia adelante) de caracteres asociados a la implantación y precocidad de crecimiento sobre la biomasa seca aérea total acumulada por planta en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de <i>P. vaginatum</i>	102
Tabla 7.7. Análisis de regresión múltiple (proceso de selección paso a paso hacia adelante) de caracteres asociados a la implantación y precocidad de crecimiento sobre el número de antecios por planta determinado en las fechas de muestreo (5) (10/12/2014: inicio de fructificación en el 2do año) y (8) (01/05/2016: plena fructificación en el 3er año), en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de <i>P. vaginatum</i>	104
Tabla 7.8. Análisis de regresión múltiple (proceso de selección paso a paso hacia adelante) de caracteres asociados a la implantación, precocidad de crecimiento y producción de biomasa sobre el número de antecios germinables por planta determinado en la fecha de muestreo (8) (01/05/2016: plena fructificación en el 3er año) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de <i>P. vaginatum</i>	106
Tabla 8.1. Detalle de las fechas de muestreo y de los caracteres estudiados.....	115
Tabla 8.2. Análisis de la varianza para caracteres de interés agronómico en cuatro poblaciones de <i>Pappophorum vaginatum</i> . CM= cuadrado medio.....	117
Tabla 8.3. Varianza genética (σ^2_G), ambiental (σ^2_A) y fenotípica (σ^2_F), heredabilidad en sentido amplio (H^2) y coeficientes de variación genético (CV_G) y ambiental (CV_A) en caracteres de interés agronómico en cuatro poblaciones de <i>Pappophorum vaginatum</i>	118

INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Introducción

La industria de producción de ganado de carne en las tres cuartas partes del territorio continental de Argentina, caracterizado por la presencia de zonas áridas y semiáridas, está basada en el pastoreo de la vegetación nativa (Busso & Fernández, 2018). Así, los pastizales naturales son importantes tanto como factor de producción (por ser el sustento de buena parte de la producción ganadera), como por ser reservorio de biodiversidad, cumpliendo un servicio ecológico o ambiental con el consecuente impacto socio-económico (Mujica, 2010 a, b).

Los pastizales del centro de Argentina se caracterizan por la escasez de especies de gramíneas perennes nativas primavera-estivales, palatables al ganado doméstico (Busso et al., 2004). Dentro de esta región, específicamente en el sur de la provincia fitogeográfica del Monte, *Pappophorum vaginatum* Buckley es prácticamente la única gramínea C4, nativa, perenne, preferida por el ganado doméstico, disponible durante la época estival para consumo animal (Giorgetti et al. 1997, 1998, 1999, 2000a, b). Aún más, Giorgetti (Giorgetti, com. pers., 2005) manifestó que la abundancia de *P. vaginatum* es actualmente limitante para satisfacer las necesidades nutritivas de los animales de pastoreo durante la estación cálida en los pastizales naturales del centro de Argentina. Esta situación expone a *P. vaginatum* al sobrepastoreo, y actualmente se la considera como una especie decreciente (Torres et al., 2013a). Cabe destacar también que según Pensiero (1986) esta especie nativa puede ser hallada en las provincias fitogeográficas Pampeana, del Espinal y SE de la Chaqueña.

Una contribución valiosa para la recuperación, mantenimiento y aumento de la biodiversidad es la domesticación de especies nativas y naturalizadas con aptitud forrajera, así como también las introducciones (Mujica, 2010 a, b). Además, según Garbulsky & Deregibus (2004), la obtención y posterior establecimiento de especies forrajeras nativas mejoradas, entre otras tecnologías, puede mejorar sustancialmente la capacidad de carga de la zona semiárida Argentina.

El germoplasma forrajero adaptado a la condición local resulta de especial interés y valor en el mejoramiento genético. Previo a su utilización debe atravesar sucesivas etapas de evaluación, desde su caracterización y evaluación inicial en invernáculo o a campo como plantas aisladas, a ensayos comparativos de rendimiento y ensayos de pastoreo (Tyler et al., 1987). Aquí resulta de fundamental importancia caracterizar el sistema de reproducción de la especie, que en el caso del género *Pappophorum* spp. presenta cleistogamia de tipo I y II (Campbell et al., 1983). Actualmente, es de gran utilidad para una mejor caracterización de germoplasma, la utilización de técnicas biotecnológicas como los marcadores moleculares. Considerando aplicaciones de estas técnicas en especies de referencia para los estudios de *Pappophorum* spp., se destacan estudios de Echenique et al. (2008). Estos autores propusieron la utilización de marcadores RAPDs (Random Amplified Polymorphic DNA), SSR (Microsatélites o Short Sequence Repeats) y AFLPs (Amplified Fragment Length Polymorphism) en *Eragrostis curvula* para la evaluación de la homogeneidad intracultivar, el establecimiento de las relaciones genéticas entre cultivares, y la caracterización de diferentes cultivares. Además, Pagano et al. (2007) utilizaron RAPDs y AFLPs para estudiar la variabilidad en *Bromus* spp. Los tres marcadores mencionados se basan

en el método PCR (reacción en cadena de la polimerasa), para la amplificación de fragmentos de ADN.

Los RAPDs y AFLPs son marcadores tipo dominantes. Los RAPDs son más baratos y sencillos de aplicar que los AFLPs pero presentan menor repetibilidad de los resultados entre laboratorios. Los SSRs son considerados de tipo codominantes y son capaces de detectar niveles muy altos de polimorfismos. La técnica RAPD consiste en amplificar secuencias de ADN utilizando cebadores (“primers”) sintetizados con un número pequeño (generalmente 10) de nucleótidos al azar. En los AFLPs el ADN se digiere con una o más enzimas de restricción; los fragmentos resultantes, polimórficos en su longitud, se amplifican por PCR. En la SSR se localizan fragmentos de ADN formados por secuencias repetidas que son altamente frecuentes en el genoma. El número de estas repeticiones son la fuente de polimorfismos, y las secuencias flanqueantes (que son altamente conservadas) permiten el uso de cebadores específicos y la amplificación por PCR (Cubero, 2003).

En referencia a la genómica en gramíneas, para la búsqueda de genes a gran escala que puedan ser incorporados a forrajeras, se han utilizado modelos como *Oryza sativa* y *Braquipodium distachyon* por ser los genomas más simples (Díaz et al., 2004).

Dilucidar las estrategias de adaptación de las especies nativas o naturalizadas resulta de fundamental importancia. Así, la mejora genética debería orientarse a lograr la combinación de los efectos de la selección natural en el ambiente local y los de la selección artificial para caracteres agronómicos, especialmente los vinculados al control de la implantación, como germinación y vigor de plántula, y de la producción de semillas (Mujica, 2010a, b).

Muchas especies necesitan luz para germinar, y el curso de la germinación en la luz y en la oscuridad puede variar entre especies (Medina, 1977). En general, las respuestas de las semillas a la luz son comunes en especies de semillas pequeñas, capaces de emerger luego de producirse alguna forma de disturbio (Pons, 2000). Como resultado, las respuestas de las semillas a la luz son entonces consideradas como signos del control de la luz sobre la dormición (Bewley & Black, 1994). En *Brisa subaristata*, especie nativa de los pastizales de Argentina, se encontró que la mayor y más rápida germinación se produjo en condiciones de luz a 20 °C (Alonso & Peretti, 1995). También en el caso de *P. vaginatum* la luz promovió la germinación (Martinez et al., 1992).

Luego del establecimiento, un mecanismo que contribuye a la persistencia de las especies en pastizales es la resiembra natural, la cual depende del aporte de semillas viables al reservorio del suelo. Esto fue comprobado en el campo bajo condiciones de pastoreo con la variedad “Aguapé” de *Lotus tenuis* (Entio & Mujica, 2011). Según Baker (1989), el banco de semillas del suelo puede funcionar como tal si los propágulos conservan su viabilidad. La persistencia del banco de semillas en el suelo también es clave por ser una reserva de adaptabilidad genética acumulada para la población sobre la que puede actuar la selección natural (Simpson et al., 1989). Las gramíneas perennes del Monte forman bancos de semillas transitorios, aunque la transitoriedad parece estar poco asociada a la germinación (Marone et al., 2003). La depredación por granívoros es el principal factor de pérdida de semillas (Marone et al., 2000). Busso y Bonvissuto (2009) estudiaron el banco de semillas de varias especies en distintos momentos y microambientes característicos de la zona árida del Monte Austral Neuquino.

En el contexto planteado también importa conocer sobre la interacción genotipo-ambiente, especialmente en aquellos caracteres (ej. germinación, vigor de plántula,

producción y calidad de forraje y semillas) considerados de importancia agronómica en la primera etapa de la domesticación. También es útil conocer sobre la norma de reacción y estabilidad de los fenotipos en los mencionados caracteres y su relación con la variabilidad genética de las poblaciones (es decir, estructura genética). Allard y Bradshaw (1964) señalan dos tipos de amortiguamiento, el individual y el poblacional, como mecanismos explicativos de la estabilidad fenotípica y que son consecuencia de la estructura genética de las poblaciones. La ausencia de interacción entre genotipos y localidades implica el beneficio de un uso más extensivo de las mejores variedades a regiones geográficas más amplias con diferentes ambientes (Tigerstedt, 1994). Actualmente, una herramienta utilizada para detectar fuentes importantes que expliquen dicha interacción es el método AMMI (Efectos aditivos e interacción multiplicativa) propuesto por Zobel et al. (1988), Gauch (1988), y Gauch & Zobel (1988) unido al uso de biplots (Kempton, 1984). El “biplot”, es una técnica de representación gráfica útil para la interpretación de patrones de respuesta de los genotipos, ambientes y de la interacción G x A. Las técnicas del análisis de varianza y el análisis de componentes principales (CP) se combinan en un solo modelo. El análisis de varianza permite estudiar los efectos principales de los genotipos y ambientes, y los análisis de CP la interacción genotipo x ambiente que es tratada de forma multivariada para su interpretación.

Otro aspecto clave para la planificación de cualquier programa de mejora sería poder estimar componentes de la varianza fenotípica (ej. varianza genotípica, varianza ambiental) para calcular parámetros genéticos (ej. heredabilidad en sentido amplio, coeficiente de variación genético, coeficiente de variación ambiental). Estos últimos permitirían estimar la respuesta a la selección en los caracteres de interés agronómico anteriormente mencionados como relevantes en esta primera etapa de la domesticación. Estudios referidos a parámetros genéticos de diversos caracteres se realizaron en varias gramíneas forrajeras, como por ejemplo, en *Bromus spp* (McDonald et al., 1952; Casler, 1998; Aulicino & Arturi, 2002; Abbot & Pistorale, 2010), *Dactylis glomerata* (Kalton et al., 1952; Casler, 1998, 2005), *Festuca arundinacea* (Burton & DeVane, 1953), *Paspalum dilatatum* (García et al., 2001; 2002), *Thinopyrum ponticum* (Pistorale et al., 2008), *Trichloris crinita* (Andrés & Quiroga, 2010) y *Phalaris aquatica* (Spara et al., 2014).

A partir de la diversidad genética de *P. vaginatum* en la región se plantea la obtención de poblaciones mejoradas de una base genética amplia (conservadoras de variabilidad estratégica), aptas para ser incorporadas a pastizales. Esto contribuiría a lograr una mayor productividad, y la recuperación y mantenimiento de la biodiversidad en dichos pastizales.

Así, por ejemplo, la variedad sintética “Aguapé” de *L. tenuis* (Mujica, 2003) se utiliza tanto en la Cuenca del Salado, como en otras regiones bonaerenses y sur de Santa Fé. Su adaptabilidad es explicable por la variabilidad genética aportada por los 17 parentales que la conforman, seleccionados exclusivamente de germoplasma adaptado al mencionado ambiente.

De este modo, en la mejora genética de especies nativas o naturalizadas, sería importante (1) investigar e identificar caracteres vinculados a estrategias de sobrevivencia para su conservación durante el proceso de selección; (2) identificar caracteres “clave” para el éxito de la implantación artificial y la producción de semilla; (3) conservar alelos determinantes de ventajas adaptativas que han sido favorecidos por la selección natural, y (4) conformar poblaciones mejoradas que contengan variabilidad genética, para lograr una respuesta poblacional de mayor estabilidad frente a cambios temporales y espaciales del ambiente (Mujica, 2010a).

1.2 Objetivos

Objetivo general

Dilucidar estrategias de adaptación a la región sur de la provincia fitogeográfica del Monte, y estudiar la variabilidad en caracteres determinantes y componentes del éxito de la implantación y de la producción de forraje y semillas de *Pappophorum vaginatum*.

Objetivos específicos

1.2.1 Explorar, recolectar y evaluar germoplasma nativo de *Pappophorum vaginatum* de la región del Monte que permita crear y mantener una colección abierta.

1.2.2 Determinar variabilidad entre y dentro de poblaciones para las siguientes características: (1) germinación, (2) vigor de planta, (3) producción y calidad de forraje, (4) producción y calidad de semillas y (5) capacidad de resiembra.

1.2.3 Estimar parámetros genéticos en caracteres de interés agronómico que permitan mejorar la implantación y la producción y calidad de forraje y semillas.

1.3 Hipótesis general

La evaluación y caracterización de germoplasma nativo de *Pappophorum vaginatum* y la determinación de caracteres determinantes de: (1) su adaptación a las condiciones de la región sur de la Provincia Fitogeográfica del Monte, y (2) los componentes del éxito de la implantación y producción de forraje y semillas, permiten la obtención de poblaciones mejoradas, aptas para lograr una mayor productividad y la recuperación y mantenimiento de la biodiversidad de los pastizales.

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio de campo se realizó entre fines de 2013 y mediados de 2016 en una clausura al acceso de herbívoros ubicada en la Chacra Experimental Patagones, en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires ($40^{\circ} 39' 49,7''$ S, $62^{\circ} 53' 6,4''$ O; 40 m snm; Fig. 2.1), en la Provincia Fitogeográfica del Monte (Cabrera, 1976).

(a)



Chacra Experimental Patagones (Carmen de Patagones, Buenos Aires)

(b)



Figura 2.1. Ubicación del sitio de estudio: (a) y (b) imágenes tomadas en mayo de 2018, Google Earth Pro, 7.3.1.4507.

En la Fig. 2.2 se presenta una imagen con los detalles del diseño del ensayo de campo realizado en la clausura en la Chacra Experimental Patagones.

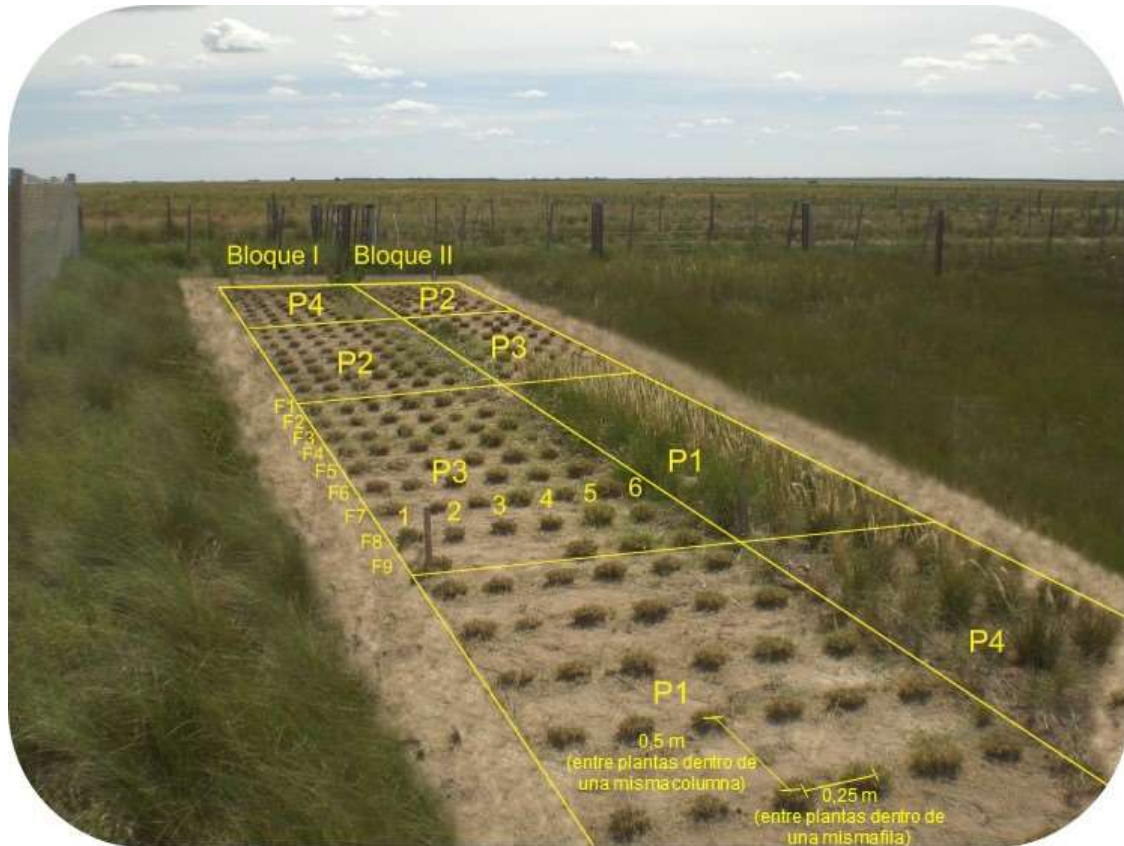


Figura 2.2. Detalle del diseño del ensayo de campo realizado en la Chacra Experimental Patagones. En cada bloque (bloque I, bloque II) se muestran la distribución de las plantas en cada una de las 4 parcelas (P1 a P4) sorteadas al azar. Dentro de cada bloque, hubo 6 columnas y 9 filas por parcela (54 plantas por parcela). Alrededor de todas las parcelas se mantuvo una zona de 1 m sin vegetación durante el estudio. Su objetivo fue mantener dicha zona sin competencia radical desde las plantas allí existentes. Las malezas fueron periódicamente removidas de dicha zona.

2.1 Clima

El clima es templado semiárido, con precipitaciones concentradas en verano y otoño. La precipitación media anual, para el período 1981-2016 fue de 434,2 mm, con valores máximos y mínimos de 877 mm (1984) y 195,5 mm (2009), respectivamente. Las precipitaciones, temperatura del aire, humedad relativa y evapotranspiración (Fig. 2.3), fueron provistas por una estación meteorológica automática ubicada a 20 m de la clausura (MA-BA, 2016). Los valores de precipitación total, para los años 2014, 2015 y parte del 2016 (enero-junio) en que se realizó el estudio fueron 597,5 mm, 477,5 mm, 506 mm, respectivamente.

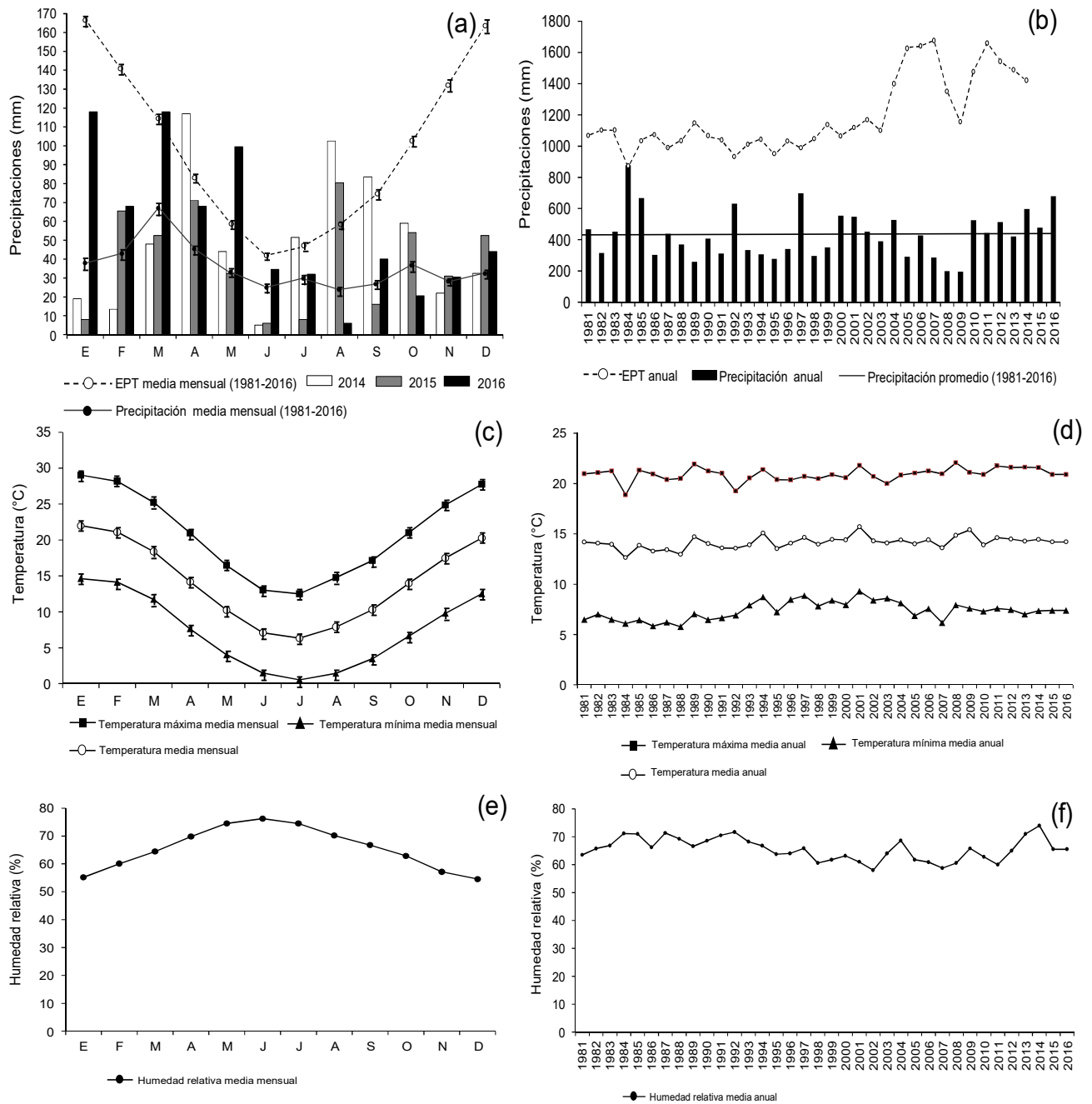


Figura 2.3. Datos registrados por la estación meteorológica de la Chacra Experimental Patagones de: (a) precipitación y evapotranspiración (EPT) media mensual, (b) precipitación y evapotranspiración (EPT) media anual, (c) temperatura del aire máxima, mínima y media mensual, (d) temperatura del aire máxima, mínima y media anual, (e) humedad relativa media mensual, (f) humedad relativa media anual. Los valores graficados en (a), (b), (c), (d), (e) y (f) corresponden al período 1981-2016, excepto en (a) donde se observa la precipitación mensual durante los años del estudio (2014, 2015 y 2016). Las líneas verticales indican el error estándar de la media.

2.2 Suelo

En la topografía regional del partido de Patagones se observan hacia al oeste intrusiones de las estribaciones de las terrazas patagónicas, y hacia el este una gran área plana de forma longitudinal que recorre el partido de norte a sur, presentando suaves ondulaciones medianosas o calcáreas (Sanchez et al., 1998).

Específicamente en el sitio de estudio, la textura de los suelos varía desde franco y franco-arenoso hasta franco-arcillo-arenoso; el pH promedio es de 7,6; el contenido de carbono orgánico de 0,6 %; la materia orgánica 1 %, y el nitrógeno total de 0,006 % (Giorgetti et al., 1997).

2.3 Vegetación

El partido de Patagones se encuentra dentro de la Provincia Fitogeográfica del Monte (Cabrera, 1976). La comunidad climax descrita por Cabrera (1968), incluye una asociación de *Larrea divaricata* (jarilla), *Geoffroea decorticans* (chañar), *Condalia microphylla* (piquillín), y *Prosopis alpataco* (alpataco). Son frecuentes, además, *Cassia aphylla* (pichanilla), *Prosopidastrum globosum* (manca caballo), *Monttea aphylla* (mata de sebo), *Chuquiraga erinacea* (uña de gato o chilladora) y *Lycium chilense* (fruto de víbora). En el mismo sentido, Lamberto (1987) señaló que las especies leñosas más comunes son *L. divaricata*, *G. decorticans*, *C. microphylla*, *P. alpataco* y *L. chilense*. Específicamente en el sitio de estudio la comunidad vegetal se caracterizó por un estrato arbustivo abierto que incluyó especies herbáceas de diferente calidad forrajera para la producción de ganado (Giorgetti et al., 1997). Según Lamberto (1987), el estrato herbáceo es predominantemente gramíneo y las especies más usuales son: *Nassella tenuis* (flechilla fina), *Nassella clarazii* (flechilla grande), *Piptochaetium napostaense* (flechilla negra), *Poa ligularis* (coirón dulce), *Poa lanuginosa* (pasto hilo), *Pappophorum vaginatum* (cola de zorro) y *Bromus brevis* (cebadilla pampeana). Además, se encuentran *Amelichloa ambigua* (paja vizcachera), *Stipa tenuísima* (pasto puma) y *Stipa trichotoma* (flechilla tendida). Las dicotiledóneas más difundidas son: *Medicago mínima* (trébol de carretilla), *Erodium cicutarium* (alfilerillo), *Plantago patagonica* (peludilla), *Baccharis ulicina* (yerba de la oveja), *Solanum eleagnifolium* (revienta caballo), *Baccharis gilliesii* (seca tierra). Así, en áreas de pastizal no expuestas a disturbios (ej. pastoreo), las gramíneas perennes C₃ deseables *N. clarazii* y *P. ligularis* son dominantes. Sin embargo, bajopastoreo moderado y continuo dichas especies son reemplazadas por otras gramíneas C₃ deseables como *N. tenuis* y *P. napostaense*. Si el pastoreo se hace aún más severo, las especies deseables terminan por desaparecer y son reemplazadas por especies indeseables. Más aún, si hay propágulos de arbustos y árboles disponibles, el sistema ecológico termina siendo reemplazado por especies indeseables y árboles y arbustos. Finalmente, en sistemas muy sobrepastoreados, se producen áreas sin vegetación, que son cubiertas por *Medicago mínima* y *Erodium cicutarium* en años muy lluviosos, desde disemínulos que se hallaban en el banco de semillas del suelo (Distel & Bóo, 1996). También es común encontrar otras gramíneas perennes deseables, como *Bromus catharticus*, *Jarava neaei*, *Jarava plumosa*, *Pappophorum vaginatum* y *Sporobolus cryptandrus*; y especies de palatabilidad intermedia como *Pappostipa speciosa*, *Melica bonariensis*, *Aristida pallens*, *A. spegazzinii* y *A. trachyantha*. Según los estudios de Cano (1988) y Giorgetti et al. (1997) estas especies deseables pueden ser reemplazadas por otras especies no palatables (indeseables) para el ganado vacuno, como por ejemplo, *Amelichloa ambigua*, *N.*

trichotoma y *A. brachychaeta* en condiciones de pastoreo continuo y alta carga animal. Además dicha condición, sumada a la baja frecuencia o falta de fuegos, la disponibilidad de propágulos de especies arbustivas y condiciones que favorezcan su establecimiento, contribuyen al reemplazo de gramíneas perennes deseables por especies anuales como *Bromus mollis*, *M. minima* y *E. cicutarium*, y especies arbustivas como *G. decorticans*, *Brachyclados lycioides* (mata negra), *C. microphylla*, *C. erinacea*, *L. divaricata*, *Schinus fasciculatus* (molle negro), *L. chilense*, *P. globosum* y *P. alpataco* (Busso & Fernández, 2018). En la Figura 2.4 se muestra una imagen del paisaje en un área de gran abundancia de plantas de *P. vaginatum* en el estrato herbáceo.



Figura 2.4. Paisaje en un área de gran abundancia de plantas de *P. vaginatum* en el estrato herbáceo.

2.4 Caracterización de la especie en estudio

Pappophorum vaginatum es una gramínea perenne, cespitosa, C₄ de (12-) 20-70 cm de altura; vainas y láminas jóvenes normalmente pubescentes, a veces glabras, las adultas glabras o raramente pubescentes; lígula formada por una corona de cílios de 0,5-3 mm, con pelos largos en los bordes; láminas linear-convolutadas, algo rígidas, escabrosas en la cara adaxial. Panoja subespiciforme, normalmente pauciflora, a veces ± densa, rara vez densa, de 5-20 cm de longitud por 1-1,5 cm de ancho; pajiza, a veces con tintes violáceos; raquis ligeramente escabroso. Espiguillas 4-5 (-6) floradas; de (8-) 9-13 mm de longitud por 1-2 mm de ancho; con los dos (-3) antecios basales fértiles; segundo antecio con la superficie externa de la lemma pubescente a los costados de la quilla y a veces en los márgenes, o totalmente glabra; tercer antecio fértil, con la superficie externa de la lemma glabra o pubescente, provisto de pálea pequeña; restantes antecios reducidos a las aristas. Glumas con ápice bilobulado, con mucrón o sin él; la inferior de 3-6,7 mm de longitud, la superior

de 3,5-7 mm de longitud. Lemma del antecio basal coriácea, con el cuerpo de 2,5-3 (-3,2) mm de longitud con pelos a ambos lados de la quilla, base y márgenes que llegan hasta $\frac{1}{2}$ o $\frac{3}{4}$ partes del cuerpo, dejándolo desnudo en su mayor parte; superficie interna escabrosa o ligeramente escabrosa en su parte superior; con (5-) 7 (-8-9) nervios marcados; provista de 13-23 aristas escabrosas, de (5-) 6-9 mm de longitud. Pálea membranácea, bicarinada, de (2,8-) 3-4 mm de longitud por 0,7-1,1 mm de ancho; ápice agudo, 2-3 (-4-5) dentado; carinas escabrosas. Cariopse de 2-2,9 mm de longitud por 0,6-1,2 mm de ancho; aovado-alargado; cara ventral con surco; escudete hasta la mitad del largo del cariopse o poco mayor; hilo punctiforme; cariopse del 2° antecio de 1-1,2 mm de longitud por 0,7-1 mm de ancho (Pensiero, 1986). La iniciación del crecimiento de esta especie se produce aproximadamente en septiembre-octubre hasta la finalización del mismo en aproximadamente mayo, cuando la planta entra en dormancia. En la Figura 2.5 se muestran para la especie *Pappophorum vaginatum*: (a) plantas, (b) panojas, (c) antecio y (d) cariósides.

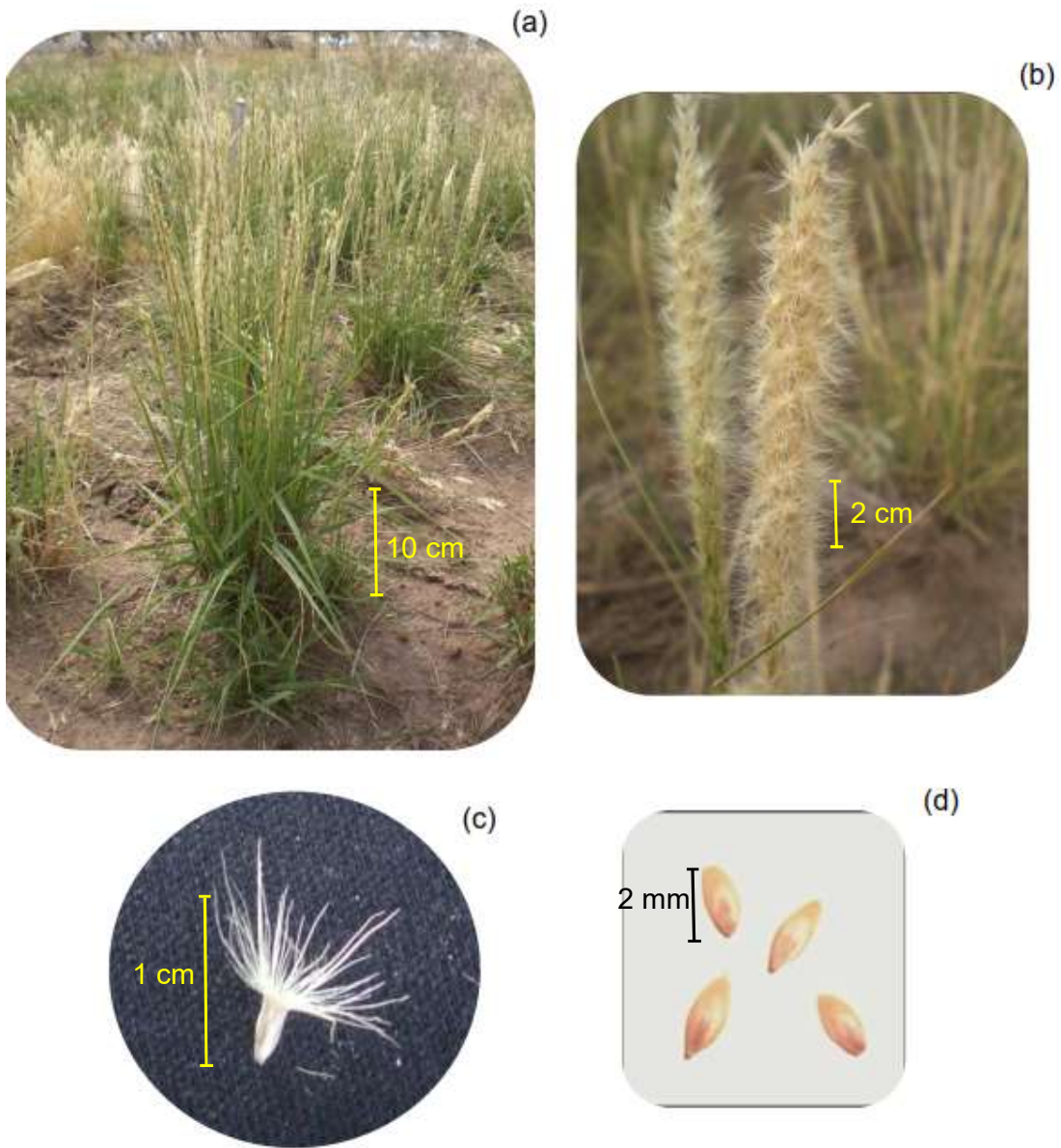


Figura 2.5. *Pappophorum vaginatum*: (a) plantas, (b) panojas, (c) antecio y (d) carióspsides.

EXPLORACIÓN, RECOLECCIÓN Y ALMACENAMIENTO DEL GERMOPLASMA

3.1 Exploración, recolección y almacenamiento

Se realizaron viajes de exploración para recolectar semillas de poblaciones nativas espontáneas de *P. vaginatum* de la región sur de la Provincia fitogeográfica del Monte (se recorrió el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, centro-este de La Pampa y noreste de Río Negro). La zona se encuentra entre las isotermas de 13°C y 16°C. La precipitación media anual oscila entre 200 mm y 550 mm. Las lluvias ocurren en verano-otoño, con sequías severas en verano debido a la alta evapotranspiración. Los suelos son principalmente aridisoles y entisoles; arenosos y de bajo contenido de materia orgánica y nitrógeno, aunque algunos son altos en fósforo. La fisionomía florística se caracteriza por un estrato de arbustos altos (*Larrea* spp.) con un tapiz de pastos (recurso forrajero más importante) dominado por especies C₃ (*N. tenuis*, *N. speciosa*, *P. ligularis* y *P. lanuginosa*) (Garbulsky y Deregibus, 2004). En cuanto al relieve se observan formaciones mesetiformes con continuas y suaves ondulaciones alternadas con planos y bajos tendidos más o menos extensos. Es extendido el uso de la tierra para pastoreo (Giorgetti, com. pers., 2012).

Los viajes se realizaron en febrero y/o diciembre de cada año, siguiendo tanto las rutas principales como las secundarias. Las recolecciones fueron en áreas al azar (n=6) de 100 m², separadas por un mínimo de 10 km (ESCONET, 2009), registrando las coordenadas mediante el uso de GPS. Cada área se consideró como una población diferente. Se tomaron en una misma bolsa un mínimo de 50 panojas por área (Marshall & Brown, 1975), y también se separaron las plantas en bolsas individuales. En la Figura 3.1 se muestra la ubicación geográfica de los sitios de recolección de las poblaciones de *Pappophorum vaginatum* y las rutas principales recorridas.



Figura 3.1. Ubicación geográfica de los sitios de recolección de las poblaciones de *P. vaginatum* y rutas principales recorridas (imagen tomada en mayo 2018, Google Earth Pro, 7.3.1.4507).

3.2 Colección

Con las recolecciones de cada año (2010; 2012) se organizó una colección de germoplasma a nivel de trabajo que fue el material base para los estudios planteados en esta investigación (Tabla 3.1).

Los estudios en este trabajo se fueron haciendo en un mayor número de poblaciones en la medida que fueron recolectadas panojas de la especie de interés en cada población. Excepto los estudios planteados en los Capítulos 6 en adelante, que se realizaron con cuatro poblaciones que por su ubicación representaban una amplia distribución dentro de la región explorada y cuyas semillas habían sido recolectadas en la etapa reproductiva anterior al inicio de los ensayos.

Tabla 3.1. Partido (provincia) y coordenadas geográficas de los sitios de recolección de las poblaciones de *P. vaginatum*.

Población (n°)	Partido (provincia)	Coordenadas geográficas
1	Saavedra (Buenos Aires)	37° 26' 51,2'' S; 62° 28' 1,2'' O
2	Adolfo Alsina (Buenos Aires)	37° 21' 37,6'' S; 62° 27' 52,1'' O
3	Villarino (Buenos Aires)	38° 49' 32,4'' S; 62° 43' 13,20'' O
4	Patagones (Buenos Aires)	40° 40' 25,86'' S; 62° 54' 3,06'' O
5	Viedma (Río Negro)	40° 51' 13,9'' S; 63° 00' 5,5'' O
6	Patagones (Buenos Aires)	40°43'29,1'' S; 62° 52' 46,3'' O

GERMINACIÓN

4.1 Efecto de la luz sobre la germinación de la carióspside con sus coberturas (lemma y pálea)

4.1.1 Introducción

En los pastizales naturales de la zona central de Argentina son escasas las gramíneas estivales, perennes y palatables para el ganado doméstico (Busso et al., 2004). No es inusual que los animales domésticos se queden sin pasto durante este período en la región aledaña a Carmen de Patagones, y aun en la Chacra Experimental Patagones, bajo condiciones apropiadas de manejo (Giorgetti, com. pers., 2005). La única especie forrajera, C₄, abundante y palatable en esta región, y más específicamente en el sur de la región Fitogeográfica del Monte es *P. vaginatum* Buckley (Giorgetti et al., 1997). Actualmente, ésta es una especie decreciente debido a que ha sido expuesta al sobrepastoreo durante décadas (Torres et al., 2013a). Esta especie nativa también puede ser hallada en otras Provincias Fitogeográficas de Argentina como la Pampeana, del Espinal y SE de la Chaqueña (Pensiero, 1986).

Un incremento de la abundancia de *P. vaginatum* en los pastizales de la zona central de Argentina no sólo sería importante para aumentar la disponibilidad de forraje para el pastoreo del ganado sino también para recuperar o mantener la biodiversidad. En otra investigación realizada en pastizales del Chaco Árido argentino se obtuvieron resultados promisorios al incorporar más semillas de especies nativas de gramíneas forrajeras perennes como estrategia para recuperar áreas degradadas (Quiroga et al., 2009).

Por ello es clave estudiar caracteres relacionados al control de la implantación como los que determinan la germinación y los factores del ambiente que la afectan (ej. la luz). La germinación es el primer paso de una serie de eventos que producirán un nuevo individuo (Soriano, 1960). La respuesta de la germinación a la luz es común en especies de semillas pequeñas, las cuales son capaces de emerger luego de producirse alguna forma de disturbio (Pons, 2000). *P. vaginatum* es una especie productora de semillas pequeñas (2 mm de largo) (Pensiero, 1986; Rúgolo de Agrasar et al., 2005). Resultados previos indican que esta especie (Martínez et al., 1992), y otras gramíneas nativas de semillas pequeñas como *Briza subaristata* (Alonso & Peretti, 1995), germinan mejor en presencia de luz. Por esta razón, las respuestas de las semillas a la luz son consideradas como signos de que la luz ejerce algún control sobre la dormición (Bewley & Black, 1994). Sin embargo, Martínez et al. (1992) y Chilo et al. (2013) determinaron ausencia de dormición en *P. vaginatum*.

No todas las especies necesitan luz para germinar (Medina, 1977). Por ejemplo, las semillas de *Paspalum atratum* pueden germinar tanto en luz como en oscuridad (Kalmbacher et al., 1999). Por otra parte, algunos estudios comunicaron diferencias en la respuesta de la germinación entre poblaciones de *P. vaginatum*, tanto en condiciones fluctuantes de luz natural en el laboratorio (Casalla et al., 2010) como en oscuridad permanente (Entio et al., 2011). Sin embargo, la variabilidad en la respuesta de la germinación a la luz entre diferentes poblaciones espontáneas nativas de esta especie no es conocida.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de varias condiciones de luz en la germinación de semillas de dos de las seis poblaciones espontáneas nativas de *P. vaginatum* recolectadas, y comparar la respuesta de la germinación entre ellas. La hipótesis es que existen diferencias en la respuesta de la germinación de las semillas a la luz entre las dos poblaciones espontáneas nativas de *P. vaginatum* estudiadas.

4.1.2 Materiales y Métodos

Sitios de recolección de las semillas

Semillas de *P. vaginatum* se recolectaron de dos poblaciones espontáneas en la región semiárida de la provincia de Buenos Aires en diciembre de 2010. Las ubicaciones geográficas de los sitios de recolección para las poblaciones uno y dos (P1 y P2) se muestran en la Fig 3.1 y Tabla 3.1. La distancia entre sitios de recolección fue de 10 km. En esta zona la precipitación media anual histórica es de 665,1 mm (1911 a 2011). La temperatura media anual es de 14,9 °C, siendo las máximas y mínimas medias de 21,3°C (enero) y 8°C (julio), respectivamente. Las temperaturas máximas y mínimas absolutas son 42,5 °C (enero) y -12 °C (julio). La humedad relativa media histórica es 66,25 % (1962 a 2011) (INTA, 2012). El relieve es típicamente una llanura con cobertura de estrato herbáceo.

La selección de los sitios de estudio se realizó en base a las diferencias en la cobertura vegetal y propiedades físico-químicas del suelo. La cobertura vegetal se determinó según Daubenmire (1959). Se utilizaron 20 parcelas Daubenmire por sitio de recolección. En el sitio de P1, los porcentajes de cobertura viva total y suelo desnudo fueron 37,5 % y 62,5 %, respectivamente. En el sitio de P2, dichos porcentajes fueron 62,5 % y 37,5 %, respectivamente. Las especies acompañantes en orden decreciente fueron *Stipa papposa*, *Bouteloua spp.*, *Centaurea spp.*, *Nassella neesiana* y *Adesmia bicolor* en la P1 y *Nassella clarazii*, *Bouteloua spp.* y *Medicago lupulina* en la P2. El suelo fue franco en la P1 y franco-arenoso en la P2. Las diferencias en las propiedades físico-químicas del suelo entre los dos sitios se indican en la Tabla 4.1 (CE, C, MO, NT, P, Ca+Mg, Na y RAS). Para los análisis de suelo se tomaron 5 muestras al azar (0-20 cm de profundidad) de cada sitio de estudio. Los métodos utilizados para determinar cada uno de los parámetros de la Tabla 4.1 fueron los siguientes:

- Conductividad eléctrica, medida en el extracto de saturación, determinación conductimetría (McKean, 1993).
- Carbono fácilmente oxidable (Walkley & Black, 1934).
- Materia orgánica. MO (%) = 1,724 x C (%) (McKean, 1993)
- Nitrógeno total, digestión húmeda, evaluación por método Microkjeldahl (Kjeldahl, 1883)
- Fósforo, método Bray Kurtz N° 1 (Bray & Kurtz, 1945).
- Cationes en el extracto; determinación de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺, por quelatometría con EDTA; Na⁺ por fotometría de llama (McKean, 1993).
- Relación de adsorción de sodio (McKean, 1993).
- Clase textural, determinación por densimetría (Bouyoucos, 1962).

Tabla 4.1. Valores promedio (± 1 EE) (n=4) de características del suelo en los sitios de estudio de las dos poblaciones (P1, P2) de *P. vaginatum*. Diferencias significativas entre poblaciones para cualquier parámetro de suelo se indican después de efectuar la prueba *t* de Student.

Parámetros	P1	P2
CE (ppm)	0,49 \pm 0,02 ns	0,51 \pm 0,03 ns
C (%)	2,29 \pm 0,12 **	1,53 \pm 0,18 **
MO (%)	3,96 \pm 0,21 **	2,63 \pm 0,21 **
Nt (%)	0,22 \pm 0,01 *	0,16 \pm 0,02 *
P (ppm)	3,75 \pm 2,08	ND
Ca + Mg (meq/l)	4,9 \pm 0,18 ns	5,33 \pm 0,18 ns
Na (meq/l)	0,53 \pm 0,07 ns	0,55 \pm 0,06 ns
RAS	0,33 \pm 0,04 ns	0,35 \pm 0,02 ns

ns: no significativa; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; ND: no detectable (la concentración del analito se encuentra por debajo del límite de detección)

CE (ppm): conductividad eléctrica; C (%): carbono fácilmente oxidable; MO (%): materia orgánica; Nt (%): nitrógeno total; P (ppm): fósforo, Ca + Mg (meq/l): cationes (Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺) en el extracto; RAS: relación de adsorción de sodio.

Ensayos de laboratorio

Se realizaron dos ensayos de germinación con semillas de dos poblaciones espontáneas nativas de *P. vaginatum*. El diseño experimental fue completamente aleatorizado. La unidad experimental fue una caja Petri con 50 cariósides. Las cariósides se colocaron con sus coberturas (lemma y pálea) sobre papel de filtro humedecido para su germinación. Dicho papel se mantuvo húmedo durante todo el estudio.

En el primer estudio se evaluó el efecto de dos condiciones de luz (L0 y L1) en la germinación de cariósides de P1 y P2. Una de las condiciones de luz consistió en oscuridad total (L0). La otra condición de luz (L1: 14 h luz/10 h oscuridad, fluctuación de luz natural del laboratorio durante diciembre) tuvo una intensidad lumínica (PAR) promedio de $13,4 \pm 1,08 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ (media ± 1 EE).

Para lograr la condición de luz L0, las cajas de Petri fueron colocadas dentro de un contenedor plástico negro. Las cariósides germinadas (radícula ≥ 3 mm) se contaron, y retiraron de las cajas de Petri luego de 4, 8, 15 y 19 días desde la imbibición. Se utilizaron 4 cajas de Petri (repeticiones) para cada una de las dos poblaciones expuestas a cada condición de luz en cada una de las fechas indicadas luego de la imbibición (4 fechas desde la imbibición x 2 poblaciones/fecha x 2 condiciones de luz/población/fecha x 4 repeticiones/condición de luz/población/fecha= 64 cajas de Petri). La extracción de las cajas de Petri del contenedor se realizó en oscuridad en cada fecha estudiada luego de la imbibición. Esto permitió que aquellas cajas de Petri que serían extraídas del contenedor en las fechas posteriores a la primera fecha desde la imbibición (8, 15 y 19 días) permanecieran bajo oscuridad continua. Las mediciones de L1 se realizaron con un sensor de radiación solar: PAR CAVADEVICES. Las

temperaturas se registraron a las 12:00 h de cada día del estudio con un termómetro digital de doble sensor (interior/exterior) modelo ThermoMeter TA318, cuyo sensor de exterior se utilizó para registrar la temperatura dentro del contenedor plástico negro. El rango de temperatura en el laboratorio donde se realizaron ambos estudios fue entre 27,8 °C y 21 °C; las temperaturas máxima y mínima medias \pm error estándar fueron 25,7 °C \pm 0,41 y 23,2 °C \pm 0,44, respectivamente. El rango de temperatura dentro del contenedor plástico negro fue entre 27 °C y 20,8 °C; las temperaturas máxima y mínima medias \pm error estándar dentro del mismo fueron 26,6 °C \pm 1,02 y 21,2 °C \pm 0,21, respectivamente. Estas temperaturas estuvieron dentro del rango de temperaturas medias mensuales del aire medidas en el campo (Chacra Experimental Patagones) en la etapa reproductiva de *P. vaginatum* (Fig. 2.3). El estudio finalizó después de 4 días consecutivos sin germinación (desde el día 15 al día 19 desde la imbibición). El porcentaje de germinación acumulada se determinó para ambas condiciones de luz.

En el segundo estudio, se evaluó la germinación de cariósides de las poblaciones P1 y P2 de *P. vaginatum* sólo bajo las condiciones L1 en el laboratorio, luego de determinar en el primer estudio, que la luz incrementó la germinación de las semillas de ambas poblaciones. Se utilizaron 8 repeticiones por población (n=8). Las cariósides germinadas (radícula \geq 3 mm) se contaron cada 24 h durante 19 días consecutivos en las mismas cajas de Petri utilizadas en el 1er estudio (2 poblaciones x 8 repeticiones/población= 16 cajas de Petri); luego del conteo las cariósides germinadas se retiraron de las cajas de Petri. El estudio finalizó luego de 4 días consecutivos sin germinación de cariósides (desde el día 15 al día 19 luego de la imbibición). Luego, se determinó: (1) porcentaje de germinación acumulada; (2) índice de velocidad de germinación, (3) tiempo hasta 50% de germinación acumulada, (4) porcentaje de antecios vacíos (sin cariósides), y (5) porcentaje de antecios con cariósides embebidas pero no germinadas. La identificación de antecios sin cariósides y de aquellos con cariósides embebidas pero no germinadas se realizó usando un microscopio estereoscópico. Se utilizó instrumental histológico para disectar la lemma y pálea de los antecios que permanecieron sin germinar. El índice de velocidad de germinación se calculó: $IVG = G_1/T_1 + G_2/T_2 + \dots + G_n/T_n$, donde G= cariósides germinadas; T= día de germinación; n= día del último control de germinación (Maguire, 1962).

Análisis Estadístico

En el primer estudio se realizó un ANOVA de tres vías (Tabla 4.2; 2 poblaciones x 2 condiciones de luz x 4 fechas de muestreo luego de la imbibición). La interacción triple resultó no significativa (Tabla 4.2), pero todas las interacciones dobles resultaron significativas ($p < 0,05$) (Tabla 4.2). De manera que se abrieron dichas interacciones para su estudio. En el segundo estudio se aplicó ANOVA de una vía para comparar las variables estudiadas en P1 y P2 expuestas a la condición L1. En todos los casos, la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa de Fisher con un nivel de significancia de 0,05. Todos los análisis estadísticos se realizaron usando el programa Infostat versión 2012 (Di Rienzo et al., 2012).

4.1.3 Resultados

Primer estudio

La interacción triple resultó no significativa ($p > 0,05$), mientras las tres interacciones dobles fueron significativas ($p \leq 0,05$): (1) Población x Condición de luz; (2) Fecha desde la imbibición x Condición de luz y (3) Fecha desde la imbibición x Población (Tabla 4.2). Cada una de estas interacciones fueron estudiadas (Figs. 4.1 a 4.3). La luz incrementó ($p \leq 0,05$) la germinación acumulada en ambas poblaciones (Fig. 4.1), y en todas las fechas desde la imbibición (Fig. 4.2) en comparación con la oscuridad continua. Además, la germinación acumulada fue superior ($p \leq 0,05$) en P1 que en P2 bajo ambas condiciones de luz (Fig. 4.1), y luego de 4 y 8 días desde la imbibición (Fig. 4.3). Sin embargo, P1 y P2 mostraron una germinación acumulada similar ($p > 0,05$) a los 15 y 19 días desde la imbibición (Fig. 4.3). Finalmente, la germinación acumulada aumentó ($p \leq 0,05$) desde los 4 a los 8 días desde la imbibición, y se mantuvo similar entre los 8 y los 19 días desde la imbibición, para ambas condiciones de luz (Fig. 4.2) y poblaciones (Fig. 4.3).

Tabla 4.2. Resultados del análisis de varianza de tres vías examinando los efectos de días después de la imbibición de las carióspsides, población y luz sobre el porcentaje de germinación acumulado de carióspsides de *P. vaginatum* recolectadas en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires.

Fuente de Variación	G.L.	Cuadrados medios y nivel de significancia
		Germinación acumulada (%)
Días desde la imbibición	3	3010,5 **
Población	1	4317,5 **
Luz	1	4442,2 **
Días desde la imbibición x Población	3	435,8 **
Días desde la imbibición x Luz	3	121,6 *
Población x Luz	1	914,8 **
Días desde la imbibición x Población x Luz	3	42,7 n.s.
Error	48	30,9
Total	63	

*: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; n.s.: no significativo

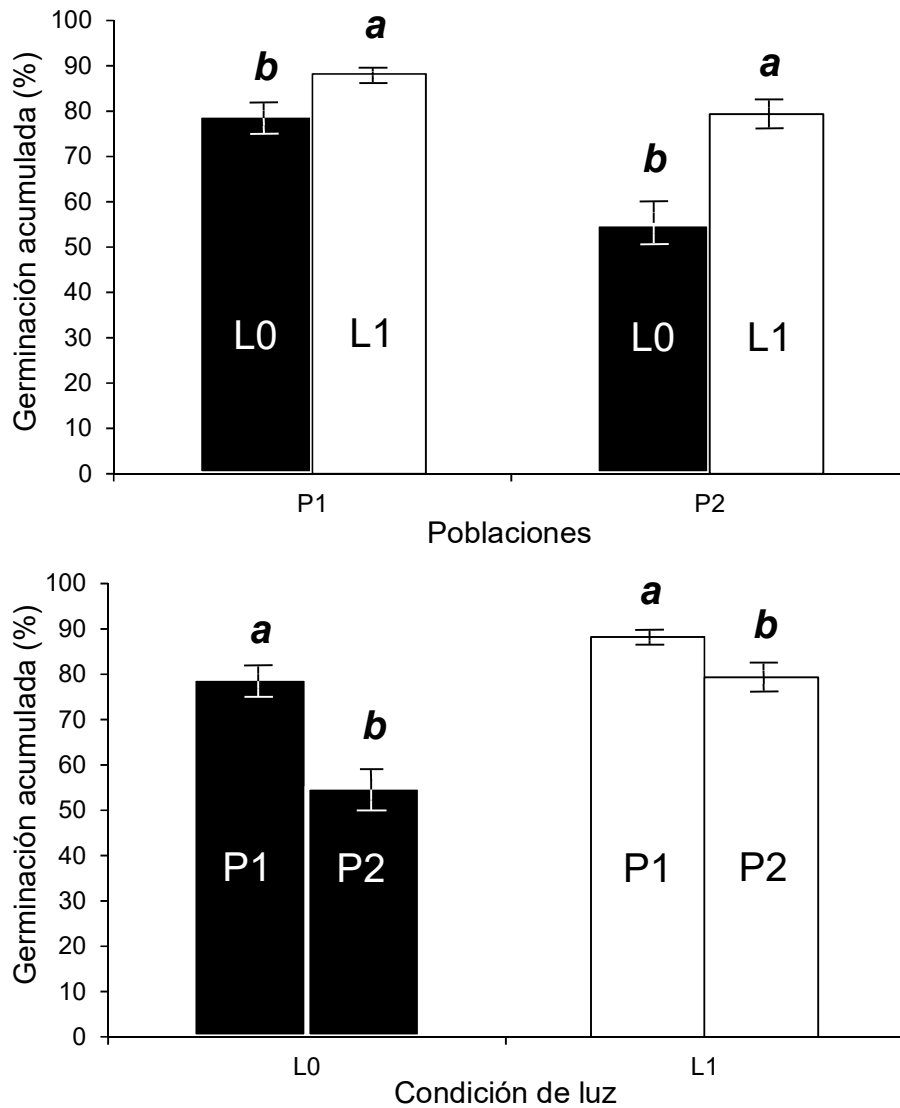


Figura 4.1. Germinación acumulada (%) después de la imbibición de las carióspsides de dos poblaciones de *P. vaginatum* (P1, P2) expuestas a dos condiciones de luz (L0=oscuridad continua; L1=14 h luz/10 h oscuridad). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre condiciones de luz dentro de cada población (panel superior), o entre poblaciones dentro de cada condición de luz (panel inferior) después de la prueba de Diferencia Mínima Significativa de Fisher.

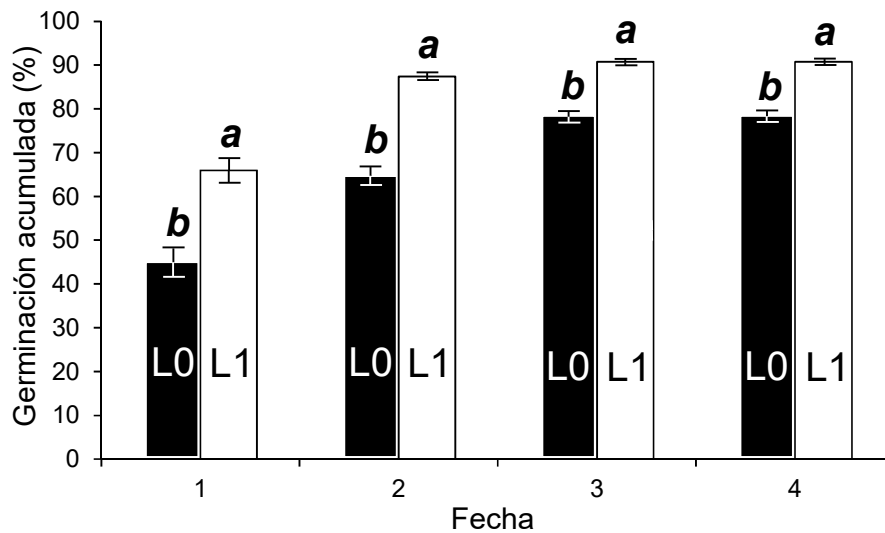
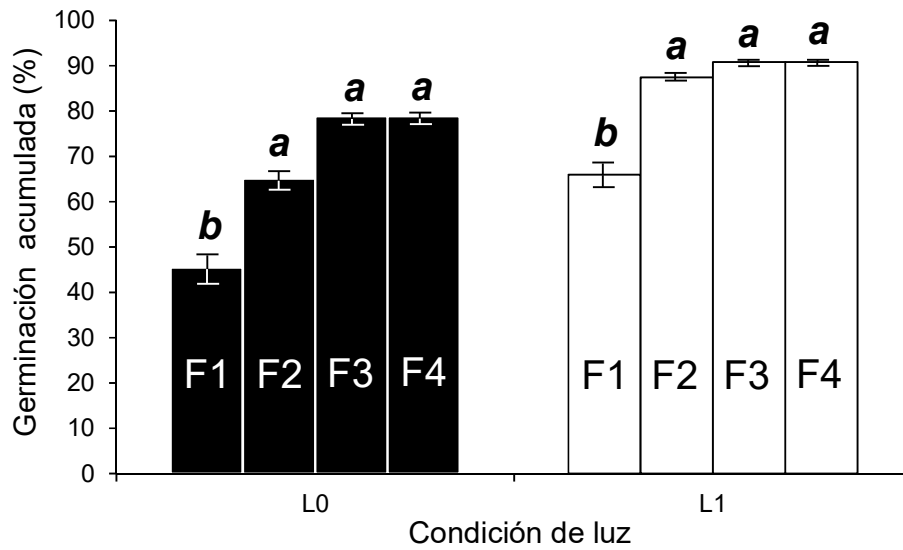


Figura 4.2. Germinación acumulada (%) después de la imbibición de las cariósides de dos poblaciones de *P. vaginatum* (P1, P2) expuestas a dos condiciones de luz (L0=oscuridad continua; L1=14 h luz/10 h oscuridad). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre fechas de muestreo (F) dentro de cada tratamiento de luz (panel superior) o entre tratamientos de luz dentro de cada fecha de muestreo (panel inferior) después de la prueba de Diferencia Mínima Significativa de Fisher.

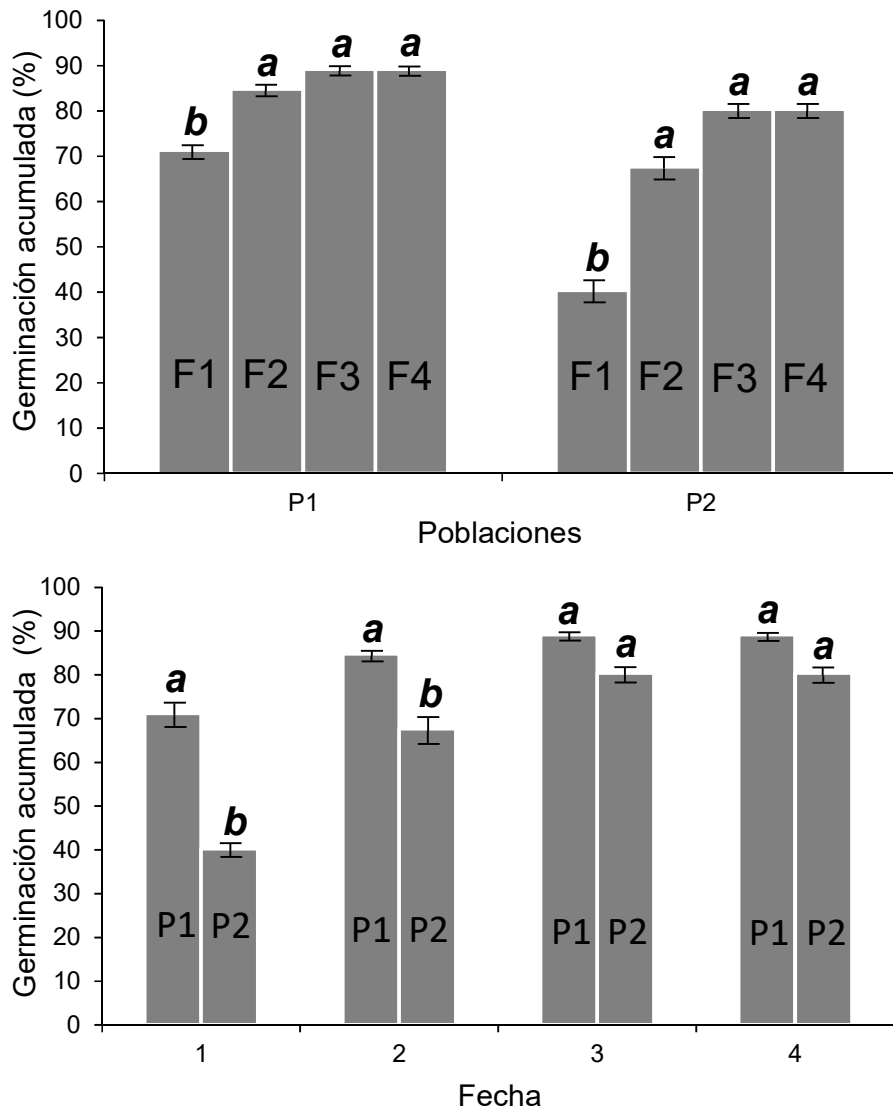


Figura 4.3. Germinación acumulada (%) después de la imbibición de las carióspsides de dos poblaciones de *P. vaginatum* (P1, P2) expuestas a dos condiciones de luz (L0=oscuridad continua; L1=14 h luz/10 h oscuridad). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre fechas de muestreo (F) dentro de cada población (panel superior) o entre poblaciones dentro de cada fecha de muestreo (panel inferior) después de la prueba de Diferencia Mínima Significativa de Fisher.

Segundo estudio

Los resultados del segundo estudio mostraron diferencias en la germinación entre las dos poblaciones estudiadas. La población 1 mostró mayor ($p \leq 0,01$) germinación acumulada e índice de velocidad de germinación, y menor ($p \leq 0,01$) tiempo hasta 50 % de germinación acumulada que la otra población (P2) al final del estudio (Tabla 4.3). A su vez, el porcentaje de carióspsides embebidas pero no germinadas fue mayor ($p \leq 0,01$) en P2 que en P1. El porcentaje de antecios vacíos fue similar ($p > 0,05$) para ambas poblaciones (Tabla 4.3).

Tabla 4.3. Valores promedio de varios parámetros de germinación en dos poblaciones (P1, P2) de *P. vaginatum* expuestas a condiciones de luz ($13,4 \pm 1,08 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$) a aproximadamente 24°C luego de 19 días desde su imbibición. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p \leq 0,01$) entre poblaciones después de la prueba de Diferencia Mínima Significativa de Fisher.

Parámetro	Población	
	P1	P2
Germinación acumulada (%)	91,31 a	80,5 b
Índice de velocidad de germinación	11,49 a	7,58 b
Tiempo hasta 50 % de germinación acumulada (días)	4,1 b	6 a
Antecios vacíos (%)	3,8 a	7 a
Antecios con cariósipide embebida pero no germinada (%)	8,6 b	19,5 a

4.1.4 Discusión

La germinación y los mecanismos de dormición son de gran importancia adaptativa ya que aseguran que la emergencia de las plántulas ocurra en el tiempo y lugar más ventajoso (Bewley & Black, 1994). En general, la respuesta de la germinación a la luz es común en especies de semillas pequeñas, como *P. vaginatum* (Rúgolo de Agrasar et al., 2005), las cuales son capaces de emerger luego de producirse alguna forma de disturbio (Pons, 2000). Por esta razón las respuestas de las semillas a la luz son consideradas como señales de que la luz ejerce algún control sobre la dormición (Bewley & Black, 1994).

Nuestros resultados mostraron un efecto positivo de la luz sobre la germinación de las cariósipides de ambas poblaciones de *P. vaginatum* (Fig. 4.1). Esto concuerda con los resultados de Martínez et al. (1992) para esta especie.

Muchas especies necesitan luz para germinar, y el efecto de la misma o de su ausencia varía según las especies (Medina, 1977). En especies de pastizales de Argentina, se observaron diversas respuestas de la germinación de semillas según la cantidad y calidad de la luz. En *Brisa subaristata*, la mayor y más rápida germinación se produjo en condiciones de luz a 20 °C (Alonso & Peretti, 1995).

En nuestro segundo estudio, las cariósipides de las poblaciones de *P. vaginatum* expuestas a la fluctuación natural luz/oscuridad del laboratorio mostraron mayores valores de germinación acumulada (80,5 a 91,2 %) a aquellos obtenidos por Entio et al. (2011). Estos autores compararon 11 poblaciones de *P. vaginatum* bajo condiciones de oscuridad. Bajo estas condiciones los porcentajes de germinación acumulada variaron entre 30,5 a 73,5 %, y la proporción de antecios vacíos fue mayor (Entio et al., 2011). En otro estudio de germinación con antecios de *Pappophorum caespitosum* y *P. philippianum* recolectados en el Chaco árido de Argentina (aprox. 300 mm de precipitación media anual) se informaron porcentajes de germinación de 50 y 51 %, respectivamente, bajo condiciones de oscuridad (Quiroga et al., 2009).

El hecho que la germinación acumulada fue mayor en P1 que en P2 podría atribuirse parcialmente a su menor proporción de antecios con cariósipides embebidas pero no germinadas (Tabla 4.2). La mayor proporción de cariósipides embebidas pero no germinadas en P2 podría atribuirse a la presencia de mecanismos de dormición y/o a la pérdida de viabilidad. Sin embargo, ambas poblaciones de *P. vaginatum* alcanzaron un porcentaje de germinación similar luego de 15 y 19 días desde la imbibición en el primer estudio (Fig. 4.3), aunque el número de repeticiones ($n=4$) fue

la mitad que en el segundo estudio (n=8). El porcentaje de antecios vacíos fue similar en ambas poblaciones (Tabla 4.3). Esto podría atribuirse a condiciones ambientales similares durante la formación de los antecios, ya que la recolección de los mismos en ambas poblaciones se realizó al mismo tiempo y en sitios relativamente cercanos.

Además, P1 creció en un suelo con mayores contenidos de carbono, materia orgánica y nitrógeno total que los encontrados para el suelo del sitio de P2 (Tabla 4.1). Varios trabajos informaron acerca de la importancia del N del suelo en incrementar el éxito de la germinación (Pons, 1989; Mandak & Pysek, 2001; Plassmann et al., 2008). Bird (2013) informó que la adición de nitrato de amonio en el suelo aumentó el porcentaje de germinación en las gramíneas *Elymus canadensis*, *Panicum virgatum*, *Schizachyrium scoparium* y *Sorghastrum nutans*. En sistemas con limitaciones en nitrógeno, como los pastizales áridos y semiáridos de Argentina, la disponibilidad del mismo podría servir como un indicador de dicho proceso, sugiriendo una mayor germinación de las semillas cuando aumenta su disponibilidad (Pons, 1989).

Casalla et al. (2010) determinaron que la respuesta de la germinación de cariósides fue variable entre poblaciones de *P. vaginatum* cuando fueron expuestas a las condiciones naturales de fluctuación luz/oscuridad del laboratorio. Resultados similares fueron obtenidos por Entio et al. (2011) bajo condiciones de oscuridad continua. A pesar de las diferencias encontradas en la respuesta de la germinación entre las dos poblaciones de *P. vaginatum* estudiadas, reconocemos que poco podemos decir en cuanto a la amplitud de esta respuesta debido al número limitado de poblaciones estudiadas. De todos modos, el hecho que la germinación tuvo una respuesta positiva a la luz en ambas poblaciones estudiadas es importante. Además, la mayor velocidad de germinación en P1 que en P2 sería ventajoso para aprovechar rápidamente los eventos de precipitación escasa ($\leq 5\text{mm}$), los cuales son comunes en el sitio de estudio (Páez et al., 2005).

Los disturbios, como el pastoreo por el ganado (ej. mediante remoción de biomasa, pisoteo), producen cambios en la cobertura vegetal y abren nuevos espacios, y oportunidades de colonización, debido a que las semillas son expuestas a variaciones en la cantidad y calidad de luz recibida (Fenner & Thompson, 2005). Podría existir también un mecanismo de respuesta a la alta irradiancia en los espacios sin cobertura vegetal por el cual se inhibe la germinación en numerosas especies (Pons, 2000). Este mecanismo es relevante en ecosistemas secos debido a que previene la germinación de las semillas depositadas sobre la superficie del suelo donde están más expuestas a las sequías durante el verano (Fenner & Thompson, 2005). Por ejemplo, en un estudio en especies componentes de pastizales semiáridos del Mediterráneo se encontró inhibición de la germinación a altas intensidades lumínicas (Dobarro et al., 2010). De todos modos, en *P. vaginatum* no se investigó aún sobre la existencia de tal mecanismo y se considera de interés hacerlo en futuras investigaciones. La respuesta de la germinación de las semillas a la luz es una determinante del momento de la germinación en el campo, lo cual es crucial para la supervivencia de las plántulas resultantes y su desarrollo posterior (Pons, 2000).

Los antecios y aristas de *P. vaginatum* son muy pequeños (Fig. 2.5; Rúgolo de Agrasar et al., 2005). La dispersión de semillas desde la planta madre por causa del viento es mayor para las semillas livianas que para las pesadas (Chambers & MacMahon, 1994). Además, Mayor et al. (2003) informaron que *P. vaginatum* estuvo presente en el banco de semillas del suelo a profundidades no mayores a 4 cm desde la superficie del mismo en la Provincia Fitogeográfica del Espinal, área relativamente cercana a nuestro sitio de estudio.

La respuesta de la germinación de las carióspsides a la luz en las poblaciones de *P. vaginatum* estudiadas (Fig. 4.1) indica que la luz debería ser considerada al momento de manejar su implantación. Las plantas de *P. vaginatum* producen abundantes antecios durante todo su ciclo de crecimiento (Torres et al., 2008). Estos antecios pueden tener una muy buena dispersión por el viento debido a su pequeño tamaño (antecio= 1,5 a 3,5 mm + aristas: 6-9 mm: Rúgolo de Agrasar et al., 2005; Fig 2.5). Briske & Richards (1995) informaron que la reproducción asexual (producción de macollas desde las yemas axilares) es la principal forma de reproducción de las gramíneas perennes en los pastizales. Futuros estudios deberán evaluar la importancia de la reproducción sexual (producción de antecios fértiles) vs. la asexual (producción de macollas) en *P. vaginatum*. Esto se debe a su precoz y abundante producción de antecios que pueden ser dispersados fácilmente por el viento dadas sus características morfológicas (Fig. 2.5) durante la mayor parte de su ciclo de crecimiento. Así, formulamos la hipótesis que la persistencia a largo plazo de *P. vaginatum* expuesto a sobrepastoreo en los pastizales áridos y semiáridos de Argentina, resulta principalmente de su abundante resiembra vía reproducción sexual (ver Torres et al., 2013b); las carióspsides de esta especie pueden presentar altos porcentajes de germinación bajo condiciones apropiadas (Tabla 4.3, P1).

4.2 Efectos de la luz y de la presencia / ausencia de las coberturas (lemma y pálea) de la carióspside

4.2.1 Introducción

Las gramíneas estivales, perennes y palatables para el ganado doméstico son escasas en los pastizales de la zona central de Argentina (Busso et al., 2004). En esta región, y más específicamente en el sur de la Provincia Fitogeográfica del Monte (sur de la provincia de Buenos Aires; 40° 39' S; 62° 54' O) se destaca *Pappophorum vaginatum* Buckley por su importancia forrajera. Es una gramínea C₄, perenne, disponible para el pastoreo durante la época estival y, como gramínea nativa, se destaca por su palatabilidad y abundancia (Giorgetti et al., 1997). Esta situación la expone al sobrepastoreo y actualmente se la considera como una especie decreciente (Torres et al., 2013a). En Argentina esta especie también se encuentra en las Provincias Fitogeográficas Pampeana, del Espinal y SE de la Chaqueña (Pensiero, 1986).

El incremento en abundancia de *P. vaginatum* en los pastizales de la zona central de Argentina, ya sea mediante implantación artificial, resiembra natural o ambos, sería importante tanto para aumentar la productividad como para recuperar y mantener la biodiversidad. En otra investigación realizada en los pastizales del Chaco Árido argentino se obtuvieron resultados promisorios al reincorporar semillas de especies nativas de gramíneas forrajeras perennes como estrategia para recuperar áreas degradadas (Quiroga et al., 2009). Para ello es clave estudiar caracteres vinculados al control de la implantación como los que determinan el proceso de la germinación y factores que la afectan, como la luz y la presencia/ausencia de las coberturas (lemma y pálea) de la carióspside.

La germinación es el primer paso de una serie de eventos que producirán un nuevo individuo (Soriano, 1960). Algunos estudios comunicaron diferencias en la respuesta de la germinación entre poblaciones espontáneas de *P. vaginatum*, tanto en condiciones fluctuantes de luz natural en el laboratorio (Casalla et al., 2010) como en oscuridad permanente (Entio et al., 2011). Otro estudio determinó que la germinación

de *P. vaginatum* fue influenciada positivamente por la luz (Martínez et al., 1992). También, otros estudios informaron que la luz incrementó la germinación de semillas de distintas poblaciones de *P. vaginatum* (Entio et al., 2012, Entio et al., 2014b). Sin embargo, no se conoce la respuesta de la germinación a la combinación de los factores luz y coberturas (presencia/ausencia) en diferentes poblaciones espontáneas nativas de esta especie.

Muchas especies necesitan luz para germinar y el efecto de su presencia o ausencia varía según las especies (Medina, 1977). La respuesta de la germinación a la luz es común en especies de semillas pequeñas, las cuales son capaces de emerger luego de producirse alguna forma de disturbio (Pons, 2000). Por esta razón, las respuestas de las semillas a la luz son consideradas como signos de que la luz ejerce algún control sobre la dormición (Bewley & Black, 1994). Sin embargo, Martínez et al. (1992) y Chilo et al. (2013) determinaron ausencia de dormición en *P. vaginatum*, una especie productora de semillas pequeñas (Pensiero, 1986; Rúgolo de Agrasar et al., 2005). Alonso & Peretti (1995) encontraron para *Brisa subaristata*, una especie nativa de pastizales de Argentina, que la mayor y más rápida germinación ocurrió a 20°C bajo condiciones de luz. También Martínez et al. (1992) informaron que la luz promovió la germinación en *P. vaginatum*.

Otro factor que podría influir en la germinación de *P. vaginatum* es la presencia o ausencia de las coberturas (lemma y pálea) de la carióspside. Las coberturas también se relacionan con algún tipo de control sobre la dormición, ya sea por interferir en la absorción de agua o el intercambio gaseoso (Ahring et al., 1975; Schrauf et al., 1998) o por poseer sustancias inhibitorias (Whiteman & Mendra, 1981; West & Marousky 1989; Schrauf et al., 1998). Así, en gramíneas forrajeras nativas como *P. caespitosum* (González et al., 2015), *Cottea pappophoroides* (López-Spahr et al., 2015) y *Chloris berroi* (Bolaños et al., 2015), y no nativas como *Chloris cucullata* y *C. subdolichostachya* (Herrera-C et al., 2006), la ausencia de las coberturas tuvo un efecto positivo sobre la germinación.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de varias condiciones de luz y de la presencia/ausencia de las coberturas en la germinación de carióspsides de cuatro poblaciones espontáneas nativas de *P. vaginatum*. La hipótesis es que existen diferencias en la respuesta de la germinación de las carióspsides a los factores luz y presencia/ausencia de coberturas entre las cuatro poblaciones nativas de *P. vaginatum* estudiadas.

4.2.2 Materiales y Métodos

Sitios de recolección de las semillas

Semillas de *P. vaginatum* se recolectaron de cuatro poblaciones espontáneas en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires y en el noreste de la provincia de Rio Negro en febrero de 2012 (Fig. 3.1). Las ubicaciones geográficas de los sitios de recolección fueron: 37° 26' 51,2" S; 62° 28' 1,2" O para la población 1 (P1); 37° 21' 37,6" S; 62° 27' 52,1" O para la población 2 (P2); 40° 51' 13,9" S; 63° 00' 5,5" O para la población 5 (P5); y 40° 43' 29,1" S; 62° 52' 46,3" O para la población 6 (P6) (Tabla 3.1). En la zona de recolección de P1 y P2 la precipitación media anual histórica es de 665,1 mm (1911 a 2011). La temperatura media anual es de 14,9 °C siendo las medias máximas y mínimas de 21,3°C y 8°C. Las temperaturas máximas y mínimas absolutas son 42,5 °C (enero) y -12 °C (julio). La humedad relativa media histórica es 66,25 % (1962 a 2011) (INTA, 2012). El relieve es típicamente una llanura con cobertura de estrato herbáceo. En la zona de recolección de P5 y P6 la precipitación media anual histórica

(1981 – 2016) es de 434,2 mm. La temperatura media anual es de 14,1 °C siendo las medias máximas y mínimas de 20,9 °C y 7,4 °C. Las temperaturas máximas y mínimas absolutas son 42,1 °C (enero) y -8,6 °C (julio). La humedad relativa media histórica es 65,5 % (1981 - 2016) (MA-BA, 2016). El relieve es típicamente una llanura con cobertura de estrato arbustivo abierto y estrato herbáceo.

Ensayo de laboratorio

Se realizó un ensayo de germinación con cariósides de cuatro poblaciones espontáneas nativas de *P. vaginatum*. El diseño experimental fue completamente aleatorizado. La unidad experimental fue una caja Petri con 50 cariósides. Los cariósides (con o sin lemma y pálea) se colocaron sobre papel de filtro humedecido para su germinación. Dicho papel se mantuvo húmedo durante todo el estudio. Se evaluó el efecto de dos condiciones de luz (L0 y L1) y de dos condiciones relativas de las coberturas [con (CC) o sin (SC) lemma y pálea] de la cariósida a los 3, 7, 12 y 16 días desde la imbibición en la germinación de semillas de P1, P2, P5 y P6. Una de las condiciones de luz consistió en oscuridad total (L0). La otra condición de luz (L1: 12 h luz/12 h oscuridad, 2 lámparas bajo consumo Philips 14 W) tuvo una intensidad lumínica (PAR) de $30 \pm 1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ (media ± 1 EE). Para lograr la condición de luz L0, las cajas de Petri fueron envueltas con doble lámina de papel de aluminio. Las mediciones de L1 se realizaron con un sensor de radiación solar: PAR CAVADEVICES. Las condiciones relativas de cobertura de la cariósida consistieron en la presencia de las coberturas (CC) y en la ausencia de las mismas (SC). Para lograr la condición SC se usó un microscopio estereoscópico y se utilizó instrumental histológico para disectar y retirar las coberturas de las cariósides. Luego de 3, 7, 12 y 16 días desde la imbibición, se tomaron 4 cajas Petri (repeticiones) de P1, P2, P5 y P6 expuestas a cada condición de luz y coberturas (4 fechas desde la imbibición x 4 poblaciones/fecha x 2 condiciones de luz/población/fecha x 2 coberturas/población/fecha x 4 repeticiones/condición de luz/coberturas/población/fecha = 256 cajas de Petri). Las cariósides germinadas (radícula ≥ 3 mm) se contaron, y retiraron de las cajas de Petri, luego de cada fecha desde la imbibición. El estudio finalizó después de 4 días consecutivos sin germinación (desde el día 12 al día 16 desde la imbibición). El porcentaje de germinación acumulada se determinó para ambas condiciones de luz y coberturas. Las temperaturas se registraron a las 12:00 h de cada día del estudio con un termómetro digital de doble sensor (interior/exterior) modelo ThermoMeter TA318. El rango de temperaturas en el laboratorio durante el desarrollo del estudio fluctuó entre 23 °C y 17,1 °C, y las temperaturas medias máximas y mínimas \pm error estándar fueron $22,3 \text{ °C} \pm 0,31$ y $18,6 \text{ °C} \pm 0,39$, respectivamente. Estas temperaturas estuvieron dentro del rango de temperaturas medias mensuales del aire medidas en la Chacra Experimental Patagones durante la etapa reproductiva de *P. vaginatum* (Fig. 2.3).

Análisis Estadístico

Se realizó un ANOVA de cuatro vías (Tabla 4.4; 4 poblaciones x 2 condiciones de luz x 2 coberturas x 4 fechas de muestreo luego de la imbibición).

La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Todos los análisis estadísticos se realizaron usando el programa Statistica 7.1 (StatSoft, Inc, 2005).

4.2.3 Resultados

La interacción cuádruple resultó no significativa ($p > 0,05$), mientras dos de las cuatro interacciones triples fueron significativas: (1) Población x Condición de luz x Coberturas ($p < 0,01$); (2) Población x Días desde la imbibición x Coberturas ($p < 0,05$) (Tabla 4.4). Cada una de estas interacciones fueron estudiadas (Fig. 4.4 y 4.5). La luz y la ausencia de las coberturas incrementaron ($p \leq 0,05$) la germinación acumulada de todas las poblaciones en comparación con la oscuridad continua y la presencia de las coberturas (Fig. 4.4). También, en presencia de las coberturas, la luz incrementó ($p \leq 0,05$) la germinación acumulada de P5 y P6 (Fig. 4.4). Por otra parte, en oscuridad continua, la presencia de las coberturas redujo ($p \leq 0,05$) la germinación acumulada de P6 (Fig. 4.4).

A los 3 días desde la imbibición hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la germinación acumulada entre poblaciones y condiciones de coberturas. La germinación acumulada de P6 con o sin coberturas resultó inferior ($p \leq 0,05$) al resto de las poblaciones (Fig. 4.5). La única excepción fue P6 vs. P1 sin las coberturas, situación en que ambas poblaciones tuvieron una germinación acumulada similar ($p > 0,05$) (Fig. 4.5).

Desde los 7 y hasta los 16 días desde la imbibición las cuatro poblaciones tuvieron una germinación acumulada similar ($p > 0,05$) en ausencia de las coberturas (Fig. 4.5). Bajo condiciones con coberturas, P1, P2 y P5 tuvieron una germinación acumulada similar ($p > 0,05$), y mayor ($p \leq 0,05$) que aquella observada en la P6 (Fig. 4.5).

Tabla 4.4. Resultados del análisis de varianza de cuatro vías examinando los efectos de días después de la imbibición de las cariósides, población, luz y coberturas sobre el porcentaje de germinación acumulado de cariósides de *P. vaginatum* recolectadas en el sudoeste de Buenos Aires y en el este de Río Negro.

Fuente de Variación	G.L.	Cuadrados medios y nivel de significancia
Población	3	7246 **
Días desde la imbibición	3	3816 **
Luz	1	11183 **
Coberturas	1	9054 **
Población x Días desde la imbibición	9	311 **
Población x Luz	3	89 ns
Población x Coberturas	3	3044**
Días desde la imbibición x Luz	3	51 ns
Días desde la imbibición x Coberturas	3	166 ns
Luz x Coberturas	1	711 **
Población x Días desde la imbibición x Luz	9	22 ns
Población x Días desde la imbibición x Coberturas	9	188 *
Población x Luz x Coberturas	3	414 **
Días desde la imbibición x Luz x Coberturas	3	51 ns
Población x Días desde la imbibición x Luz x Coberturas	9	86 ns
Error	192	
Total	255	

ns: no significativa; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$

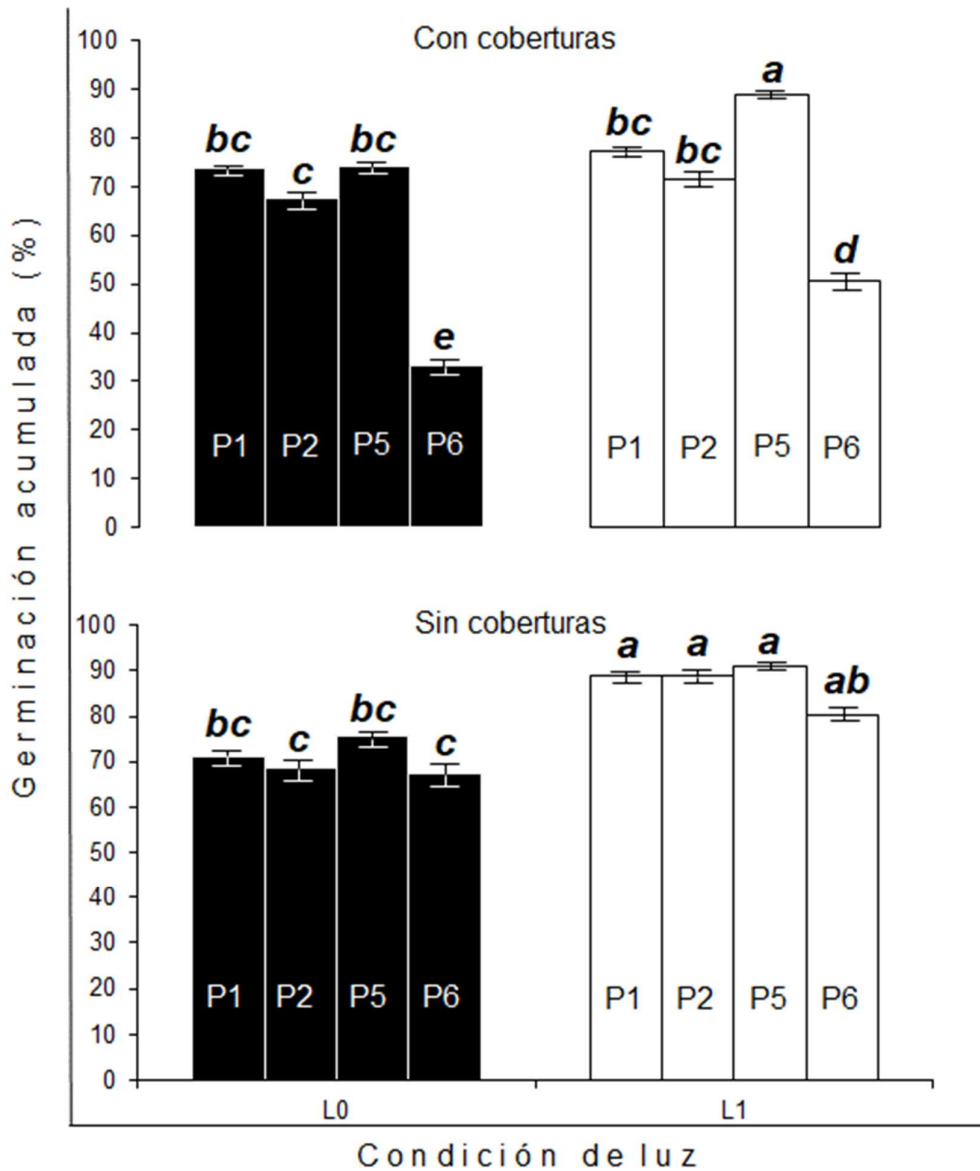


Figura 4.4. Germinación acumulada (%) 16 días después de la imbibición de las cariósides de cuatro poblaciones de *P. vaginatum* (P1, P2, P5, P6) expuestas a dos condiciones de luz (L0=oscuridad continua; L1=12 h luz/12 h oscuridad) y dos condiciones de coberturas (con y sin). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Prueba de Tukey.

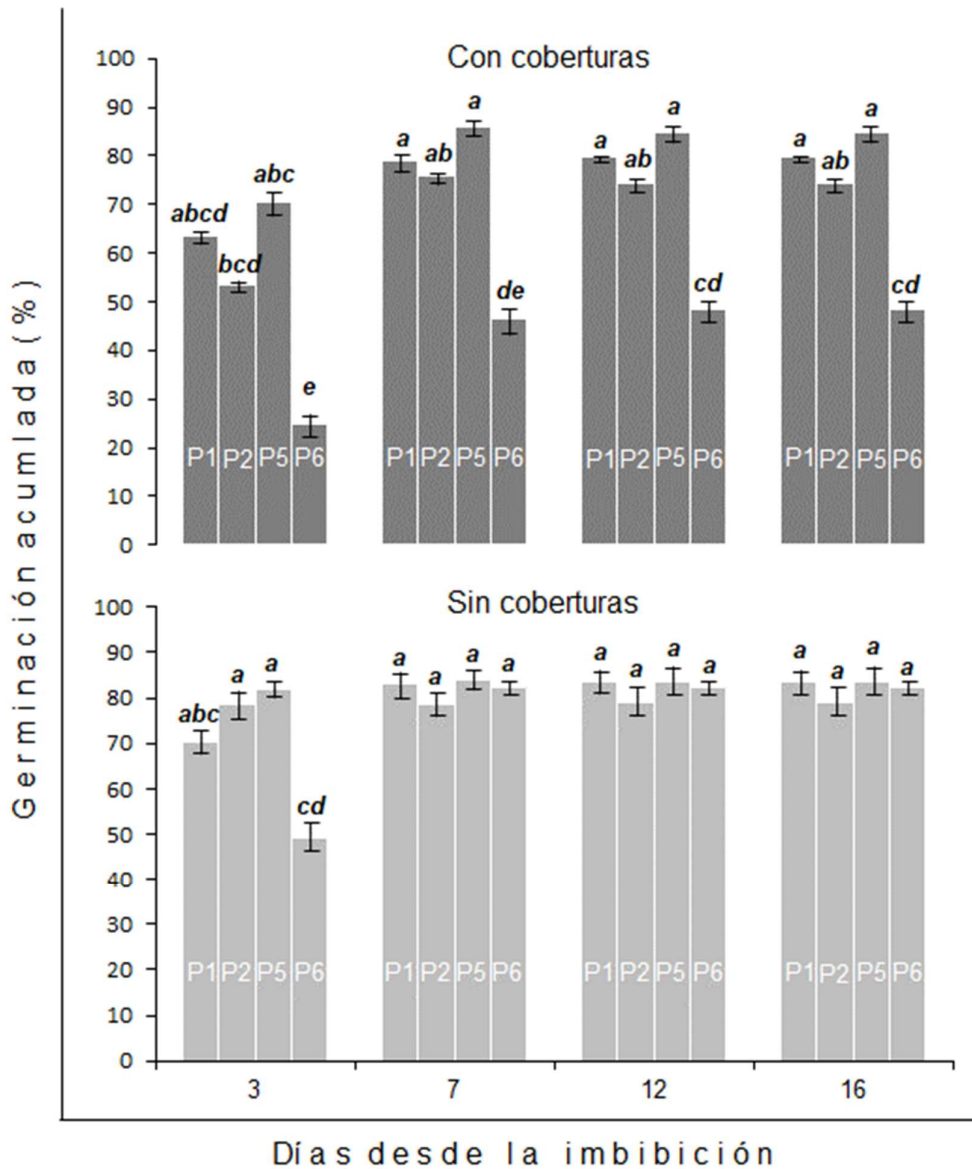


Figura 4.5. Germinación acumulada (%) en cuatro fechas después de la imbibición de las cariósides (3, 7, 12 y 16 días) de cuatro poblaciones de *P. vaginatum* (P1, P2, P5, P6) expuestas a dos condiciones de coberturas (con y sin). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Prueba de Tukey.

4.2.4 Discusión

La germinación y los mecanismos de dormición son de gran importancia adaptativa ya que aseguran que la emergencia de las plántulas ocurra en el tiempo y lugar más ventajoso (Bewley & Black, 1994). En general, la respuesta de la germinación a la luz es común en especies de semillas pequeñas, como *P. vaginatum* (Rúgolo de Agrasar et al., 2005), las cuales son capaces de emerger luego de producirse alguna forma de disturbio (Pons, 2000). Por esta razón las respuestas de las semillas a la luz son consideradas como signos de que la luz ejerce algún control sobre la dormición (Bewley & Black, 1994). También las coberturas se relacionan con algún tipo de control sobre la dormición, ya sea por interferir en la absorción de agua o el

intercambio gaseoso (Ahring et al., 1975; Schrauf et al., 1998) o por poseer sustancias inhibitoras (Whiteman & Mendra, 1981; West & Marousky 1989; Schrauf et al., 1998).

Los resultados de este estudio mostraron un efecto positivo de la luz y de la ausencia de las coberturas sobre la germinación de las cariósides de las cuatro poblaciones de *P. vaginatum* estudiadas (Fig. 4.4). El hecho que la luz tuvo un efecto positivo sobre la germinación concuerda con los resultados de Martínez et al. (1992) para un material de esta especie, y de Entio et al. (2012, 2014b) para diferentes poblaciones de esta especie. También, el efecto positivo de la ausencia de las coberturas sobre la germinación concuerda con los resultados de Herrera-C et al. (2006), González et al. (2015), López-Spahr et al. (2015) y Bolaños et al. (2015) para otras gramíneas forrajeras nativas y no nativas de Argentina.

Muchas especies necesitan luz para germinar y el efecto de la misma o de su ausencia varía según las especies (Medina, 1977). Por ejemplo en *Brisa subaristata* (gramínea nativa de pastizales de Argentina), la mayor y más rápida germinación se produjo en condiciones de luz a 20 °C (Alonso & Peretti, 1995).

El hecho que la germinación de las cariósides tuvo una respuesta positiva a la luz en las cuatro poblaciones estudiadas es importante. Esto combinado con una mayor velocidad de germinación, sería ventajoso para aprovechar rápidamente los pequeños eventos de precipitación (≤ 5 mm), los cuales son comunes en el sitio de estudio (Páez et al., 2005). Estos autores determinaron que el 61 % de los eventos de precipitación durante 18 años (1983 a 2000) fueron menores a 5 mm.

Los disturbios, como el pastoreo por el ganado (ej. mediante remoción de biomasa, pisoteo), producen cambios en la cobertura vegetal y abren nuevos espacios, y oportunidades de colonización, debido a que las semillas son expuestas a variaciones en la cantidad y calidad de luz (Fenner & Thompson, 2005). También podría existir un mecanismo de respuesta a la alta irradiancia por el cual se inhibe la germinación en numerosas especies (Pons, 2000). Este mecanismo es relevante en ecosistemas secos debido a que previene la germinación de las semillas depositadas sobre la superficie del suelo donde están más expuestas a las sequías durante el verano (Fenner & Thompson, 2005). Por ejemplo, en un estudio en especies componentes de pastizales semiáridos del Mediterráneo se encontró inhibición de la germinación a altas intensidades lumínicas (Dobarro et al., 2010). De todos modos, en *P. vaginatum* no se investigó aún sobre la existencia de tal mecanismo y se considera de interés hacerlo en futuras investigaciones. La respuesta de la germinación de las semillas a la luz es una determinante del momento de germinación en el campo, lo cual es crucial para la supervivencia de las plántulas resultantes y su desarrollo posterior (Pons, 2000).

Las plantas de *P. vaginatum* producen abundantes antecios durante todo su ciclo de crecimiento (Torres et al., 2008). Estos antecios pueden tener una muy buena dispersión por el viento debido a su pequeño tamaño (antecio= 1,5 a 3,5 mm + aristas: 6-9 mm: Rúgolo de Agrasar et al., 2005). La dispersión de semillas desde la planta madre por causa del viento es mayor para las semillas livianas que para las pesadas (Chambers & MacMahon, 1994). Briske & Richards (1995), informaron que la reproducción asexual (producción de macollos desde las yemas axilares) es la principal forma de reproducción de las gramíneas perennes en los pastizales. Futuros estudios deberán evaluar la importancia de la reproducción sexual vs. la asexual (producción de macollas) en *P. vaginatum*, dada su precoz y abundante [media \pm 1EE, 1285 \pm 67,7 antecios germinables por planta: Fig. 6.27 (cont.), Cap. 6] producción de antecios durante la mayor parte de su ciclo de crecimiento. Así, hipotetizamos que la persistencia a largo plazo de *P. vaginatum* expuesto a sobrepastoreo en pastizales

áridos y semiáridos de Argentina resulta parcialmente de su abundante resiembra mediante diseminulos de reproducción sexual (ver Torres et al., 2013b). Estos diseminulos pueden presentar altos porcentajes de germinación bajo condiciones apropiadas.

La diferencia en la respuesta de la germinación de las cariósides a las condiciones de luz y coberturas en las poblaciones de *P. vaginatum* estudiadas (Fig. 4.4) indican que ambos factores deberían ser considerados al momento de manejar su implantación y resiembra natural. Por ejemplo, en *Digitaria eriantha*, cuya germinación también es favorecida por la luz, es necesaria una siembra superficial para facilitar dicho proceso (Bandera et al., 2013). En referencia a las coberturas, el efecto positivo de su ausencia sobre la germinación sería beneficioso en caso que durante el proceso de poscosecha puedan ser removidas. Además, en un estudio sobre una posible interacción entre las hormigas y la resiembra natural de *P. vaginatum*, Entio et al. (2014a) comunicaron que las coberturas son removidas por las hormigas. Sin embargo, este proceso es dentro del nido para almacenamiento y consumo de la cariósida, depositando luego las coberturas en el exterior cercano al nido.

VARIABILIDAD Y CORRELACIONES EN CARACTERES DETERMINANTES DEL VIGOR DE PLANTA

5.1 Introducción

Los pastizales del centro de Argentina se caracterizan por la escasez de especies de gramíneas perennes nativas primavera-estivales, palatables al ganado doméstico (Busso et al. 2004). En esta región y más específicamente en el sur de la Provincia Fitogeográfica del Monte se destaca *Pappophorum vaginatum* Buckley por su importancia forrajera. Sin embargo, esta especie nativa puede ser hallada prioritariamente en las Provincias Fitogeográficas Pampeana, del Espinal y SE de la Chaqueña (Pensiero, 1986). Dicha especie es una gramínea perenne disponible para el pastoreo durante la época estival. Es una especie C₄, que entre las gramíneas perennes nativas, se destaca por su preferencia por los herbívoros domésticos (Giorgetti et al., 1997). Esta situación la expone al sobrepastoreo y determina que sea considerada como una especie decreciente (Torres et al., 2013a).

En la región del Monte existen grandes extensiones de pastizales degradados por el sobrepastoreo (Busso & Fernández, 2018; Guevara et al., 1997). Así, el incremento en la abundancia de especies valiosas como *P. vaginatum* Buckley sería importante para incrementar la producción de carne de los herbívoros domésticos. Para ello es estratégico estudiar caracteres vinculados al control de la implantación de esta especie, como los relacionados al vigor de planta. Esto se debe a que plantas más vigorosas tendrán una mayor habilidad competitiva para establecerse (Hyder et al., 1971; Berdahl & Barker, 1984). El vigor de planta se caracteriza generalmente por el peso de la misma luego de un periodo de crecimiento (Smart et al., 2003) en un ambiente determinado (Qualls et al., 1968). Un carácter relacionado a un mayor vigor de planta en numerosas especies forrajeras (ej. leguminosas) es un mayor peso de la semilla (Beuselinck & McGraw, 1983; Beveridge & Wilsie, 1959; Collado & Mujica, 2002; Henson & Tayman, 1961). En gramíneas se conocen diversos resultados. En *Andropogon hallii* Hack. se obtuvo que el peso de la semilla tuvo un efecto positivo en el vigor de planta (Glewen & Vogel, 1984). En *Lolium perenne* se determinó que en estadios iniciales del crecimiento el peso de la semilla está altamente y positivamente correlacionado con el vigor de planta, pero que dicha correlación decrece a medida que avanza el crecimiento (Thomas, 1966). En *Agropyron psammophilum* se obtuvo que dicha correlación fue cambiante en cuanto a su significación según el momento de evaluación de las plantas (Zang & Maun, 1990). En *Panicum virgatum*, se determinó que un mayor peso de la semilla tuvo un efecto positivo en el crecimiento y desarrollo de la planta sólo hasta la sexta semana luego de la emergencia (Smart & Moser, 1999).

Además del peso de la semilla, explorar la existencia de variabilidad y correlación fenotípica en otros caracteres que podrían estar asociados al vigor de planta sería útil para diseñar la mejora genética de dicho carácter. Se destaca la importancia de las raíces adventicias: en *Bouteloua gracilis*, una gramínea forrajera de pastizales semiáridos; plantas de esta especie con una raíz adventicia grande tuvieron ventaja en la captación de agua sobre aquellas con sólo raíces seminales (Wilson et al., 1976). También se destaca la importancia del número de macollas, que puede influir afectando la relación fuente-destino de los fotosintatos utilizados para el crecimiento

(Smart et al., 2003). En investigaciones en *Festuca arundinacea* se determinó que plantas con mayor número de macollas tuvieron menor biomasa de raíz (Skinner & Nelson, 1994) y que tuvieron raíces más cortas (Song et al., 1990).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la variabilidad y correlación fenotípica en caracteres vinculados al vigor de planta en dos poblaciones naturales de *P. vaginatum* Buckley.

En este sentido, se plantea la hipótesis que existe variabilidad dentro y entre dos poblaciones de *P. vaginatum* Buckley en el vigor de planta y que, ciertos caracteres asociados al mismo podrían explicar, en alguna medida, la variación del vigor de planta, siendo por lo tanto determinantes del mismo.

5.2 Materiales y Métodos

Se estudiaron dos poblaciones (P) naturales de *Pappophorum vaginatum* Buckley recolectadas en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires en diciembre de 2010 (P1: partido de Saavedra; P2: partido de Adolfo Alsina). La ubicación geográfica de las mismas, distanciadas 10 km entre sí, se informa en la Tabla 3.1. En esta zona la precipitación media anual histórica (1962-2011) es de 665,1 mm. La temperatura media anual es de 14,9 °C (medias máximas y mínimas anuales -de 21,3°C y 8°C, respectivamente). Las temperaturas máximas y mínimas absolutas son 42,5 °C (enero) y -12 °C (julio). La humedad relativa media histórica (1962-2011) es 66,25 % (INTA, 2012). El relieve es típicamente una llanura con cobertura de estrato herbáceo. El suelo en el sitio de recolección de la población 1 es franco y en el de la población 2 es franco-arenoso.

Se recolectaron 100 panojas por población a razón de una por individuo (n=100). Se mezclaron las cariopsis de cada población por separado. De allí se tomaron al azar 100 cariopsis por población (n=100) y se pesaron (Balanza Mettler H54AR) individualmente sin las coberturas (lemma y pálea) (Psem). La siembra de una cariopsis por pote se realizó el 14 de noviembre de 2011 en potes plásticos (125 cm³) que contenían suelo (Argiudol típico) homogeneizado como sustrato (tierra/arena 3:1). El ensayo se condujo al aire libre en La Plata (Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales; 34°56'13"S, 57°56'41"O) en condiciones semicontroladas manteniendo el riego para un crecimiento normal de las plántulas. Los potes se registraron diariamente y el riego se aplicó procurando que la superficie del suelo de cada pote siempre estuviera saturada de humedad (color negro brillante). Cada 24 h, durante 20 días, se registró la emergencia de plántulas y se determinó el número de días desde la siembra hasta la emergencia (n°dE). Se determinó el porcentaje de emergencia acumulada (Eac%) para cada población. A los 43 días desde la siembra, 60 plantas por población fueron retiradas y lavadas suavemente en una corriente de agua sobre un tamiz. Para cada planta se determinaron: altura (A), medida desde el cuello de la raíz hasta el extremo de la hoja más larga; longitud de la raíz seminal más larga (LR), medida desde el cuello de la raíz hasta el extremo de dicha raíz seminal; longitud total (LT= A+LR); longitud de la raíz adventicia más larga (Ladv), número de raíces adventicias mayores a 1 cm (n°adv); número de hojas verdes desplegadas (n°hoj); número de hojas senescentes que presentaron más del 50% de su área seca (n°sen), y número de macollas (n°mac). Las mediciones lineales se realizaron con una regla. Luego se disectó cada planta a la altura del cuello de la raíz, se llevaron a estufa a 60 °C durante 72 h y se determinó peso seco aéreo (PSA) y radical (PSR), y se calculó el peso seco total (PST= PSA+PSR). También se calcularon las relaciones PSA/PSR y A/LR. La variabilidad se analizó mediante estadística descriptiva y prueba de t. Se

analizó correlación entre caracteres (coeficiente de Pearson) y regresión múltiple (proceso de selección paso a paso hacia adelante) de los caracteres sobre el PST. Todos los análisis estadísticos se hicieron con el Infostat versión 2012 (Di Rienzo et al., 2012).

5.3 Resultados

Los resultados muestran que las poblaciones estudiadas no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el vigor de planta (PST). P1 presentó mayor ($p \leq 0,01$) A, PSA/PSR y A/LR que P2 (Tabla 5.1). P2, presentó mayor ($p \leq 0,05$) PSR y LR, y una mayor Ladv ($p \leq 0,05$) que P1 (Tabla 5.1). En los demás caracteres (Psem, PSA, LT, n°adv, n°hoj, n°sen, n°mac, n°dE) no hubo diferencias significativas entre las poblaciones. La Eac% fue de 65 % y 77 % para P1 y P2, respectivamente (Tabla 5.1). Ambas poblaciones no presentaron emergencia de plántulas posterior a los 11 días después de la siembra.

Tabla 5.1. Variabilidad en caracteres vinculados al vigor de planta dentro y entre dos poblaciones (P1, P2) de *P. vaginatum* recolectadas en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Prueba de *t*.

Carácter	Población 1				Población 2			
	Media	s	Rango	CV(%)	Media	s	Rango	CV(%)
Psem (mg)	0,74 ns	0,2	0,29-1,2	27,48	0,69 ns	0,15	0,37-1	21,28
n°dE (días)	4,75 ns	1,45	4-10	30,43	4,52 ns	1,02	4-8	22,51
A (cm)	7,88 **	2,46	2,8-13,6	31,1	6,39 **	1,59	3-10,7	24,89
LR (cm)	13,31 *	4,06	7,5-26	30,49	14,67 *	3,36	8,5-24	22,94
LT (cm)	21,19 ns	5,37	10,3-34,5	25,32	21,06 ns	3,68	14,4-29,7	17,47
Ladv (cm)	6,23 *	3,82	0-13,7	61,3	7,85 *	3,68	0-14,5	46,9
n°adv	1,8 ns	1,12	0-4	62,05	2,02 ns	1,05	0-4	52,04
n°hoj	4,68 ns	0,72	3-7	15,47	4,55 ns	0,75	3-6	16,4
n°sen	1,8 ns	0,71	0-4	39,35	1,88 ns	0,45	1-3	24,13
n°mac	1,17 ns	0,96	0-3	82,25	1,13 ns	1,02	0-3	89,67
PSA (mg)	15,3 ns	6,1	2,7-29,1	39,8	15,18 ns	6,31	4,1-32,3	41,56
PSR (mg)	10,88 *	4,72	2,3-22,3	43,4	13,58 *	5,59	3,5-31,5	41,19
PST (mg)	26,18 ns	10,43	5,1-51,5	39,8	28,76 ns	11,52	8,4-64	40,07
PSA/PSR	1,48 **	0,46	0,9-3,5	31,24	1,14 **	0,26	0,7-1,9	22,82
A/LR	0,62 **	0,23	0,25-0,46	36,8	0,46 **	0,15	0,18-0,79	32,58
Eac (%)	65	---	---	---	77	---	---	---

ns: no significativo; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$

Psem (mg): peso de cada carióspside sin coberturas; n°dE (días): número de días desde la siembra hasta la emergencia; A (cm): altura, medida desde el cuello de la raíz hasta el extremo de la hoja más larga; LR (cm): longitud, medida desde el cuello de la raíz, de la raíz seminal más larga; LT (cm): longitud total (A+LR); Ladv (cm): longitud de la raíz adventicia más larga; n°adv (raíces adventicias): número de raíces adventicias mayores a 1cm; n°hoj (hojas): número de hojas verdes desplegadas; n°sen (hojas): número de hojas senescentes que presentaron más del 50% de su área seca; n°mac (macollas): número de macollas; PSA (mg): peso seco aéreo; PSR (mg): peso seco radical; PST (mg): peso seco total (PSA+PSR); PSA/PSR: relación peso seco aéreo / peso seco radical; A/LR: relación altura / longitud radical; Eac (%): porcentaje de emergencia acumulada. Las mediciones están expresadas por planta.

En cuanto a las relaciones entre los caracteres estudiados hubo una correlación significativa y positiva entre el PST y A, LT, Ladv, n°adv, n°hoj, n° mac, y A/LR en ambas poblaciones (Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Correlación de caracteres vinculados al vigor de planta (PST) en dos poblaciones (P1, P2) de *P. vaginatum* recolectadas en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (n=60). Coeficiente de correlación de Pearson.

	A	LR	LT	Ladv	n°adv	n°hoj	n°mac	n°dE	Psem	PSA/PSR	A/LR
PST (P1)	0,78**	0,37**	0,64**	0,66**	0,63**	0,3*	0,67**	-0,06ns	-0,17ns	-0,13ns	0,39**
PST (P2)	0,83**	0,13ns	0,48**	0,43**	0,62**	0,44**	0,71**	0,14ns	0,1ns	0,01ns	0,49**

ns: no significativo; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$.

A (cm): altura, medida desde el cuello de la raíz hasta el extremo de la hoja más larga; LR (cm): longitud, medida desde el cuello de la raíz, de la raíz seminal más larga; LT (cm): longitud total (A+LR); Ladv (cm): longitud de la raíz adventicia más larga; n°adv (raíces adventicias): número de raíces adventicias mayores a 1cm; n°hoj (hojas): número de hojas verdes desplegadas; n°mac (macollas): número de macollas; n°dE (días): número de días desde la siembra hasta la emergencia; Psem (mg): peso de cada cariósipide sin coberturas; PSA (mg): peso seco aéreo; PSR (mg): peso seco radical; PST (mg): peso seco total (PSA+PSR); PSA/PSR: relación peso seco aéreo / peso seco radical; A/LR: relación altura / longitud radical.

El análisis de regresión múltiple (proceso de selección paso a paso hacia adelante) de los caracteres estudiados sobre el PST fue significativo ($p \leq 0,01$) en ambas poblaciones. Así, se encontró que con la inclusión de la A y el n°mac se explicó, en ambas poblaciones, más del 75 % de la variación del PST ($p \leq 0,01$) (Tabla 5.3).

Tabla 5.3. Análisis de regresión múltiple (proceso de selección paso a paso hacia adelante) de los caracteres evaluados en dos poblaciones (P1, P2) de *P. vaginatum* recolectadas en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires sobre el vigor de planta (PST) (n=60). El valor de p fue $\leq 0,01$ para ambas poblaciones.

Variable	P1		P2	
A + n° mac	R ² (%)	Ecuación de regresión	R ² (%)	Ecuación de regresión
	76	$PST = -0,1 + 2,8A + 3,7n^{\circ}mac$	78	$PST = -5,2 + 4,6A + 4n^{\circ}mac$

A (cm): altura, medida desde el cuello de la raíz hasta el extremo de la hoja más larga; n°mac (macollas): número de macollas

5.4 Discusión

En este estudio no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0,05$) en el PST de planta en las dos poblaciones de *P. vaginatum* estudiadas pero si en otros caracteres determinados. La mayor ($p \leq 0,01$) A y las mayores ($p \leq 0,01$) relaciones PSA/PSR y A/LR obtenidas en P1 que en P2 indicarían que, al menos en el periodo estudiado, hubo probablemente una mayor asignación de fotoasimilados hacia los tejidos aéreos en P1 que en P2. Esto implicaría una ventaja en el crecimiento aéreo inicial. Al mismo tiempo, los mayores valores de PSR ($p \leq 0,05$), LR ($p \leq 0,05$) y Ladv ($p \leq 0,05$), y las

menores ($p \leq 0,01$) relaciones PSA/PSR y A/LR obtenidas en P2 que en P1 indicarían una mayor asignación de fotoasimilados hacia los tejidos subterráneos. Esto podría resultar ventajoso para la implantación en pastizales áridos y semiáridos. Esto se podría deber a que la principal fuente de competencia en estos ambientes es a menudo por la obtención de la humedad del suelo. En este sentido, las raíces adventicias son importantes. Por ejemplo, las plantas con una mayor cantidad de raíces adventicias captaron hasta 5 veces más agua por día que aquellas con sólo raíces seminales en *Bouteloua gracilis* (Wilson et al., 1976).

Greco et al. (2013) estudiaron en *P. caespitosum*, bajo condiciones semicontroladas, los umbrales de humedad para la emergencia de plántulas, determinando que el mínimo correspondería a una lluvia de 40 mm. Los eventos de precipitación en la zona semiárida frecuentemente son inferiores a dicho valor. En el sitio de estudio, 61% de los eventos de precipitación fueron menores a 5 mm durante un período de 18 años (Páez et al., 2005). Por lo tanto, una mayor cantidad de raíces adventicias podría facilitar la ocurrencia de la emergencia de las plántulas aún por debajo del umbral mencionado.

Del análisis de regresión múltiple, se obtuvo que la inclusión de la altura y el número de macollas explicaron más del 75 % de la variación del peso seco total por planta en ambas poblaciones. Ambos caracteres son de fácil medición. Esto indicaría que dichos caracteres podrían ser útiles en la selección indirecta para mejorar el vigor de la plántula. Esto debería ser considerado en estudios posteriores para profundizar y confirmar la factibilidad de la mencionada aplicación.

El peso de la cariósida no se correlacionó con el peso seco total de las plantas. Esto indica que, contrariamente a lo ocurrido en otras especies, el peso de la cariósida no se podría utilizar como predictor del vigor de plántula. De esta forma, lo hallado en *P. vaginatum* no coincide con lo obtenido para leguminosas forrajeras como alfalfa (Beveridge & Wilsie, 1959) y *Lotus* (Henson & Tayman, 1961; Beuselinck & Mcgraw, 1983; Collado & Mujica, 2002). Sin embargo, en algunas gramíneas forrajeras, se determinó la existencia de una correlación positiva entre estos caracteres, aunque esto podría ser relativo, dependiendo de la especie y la etapa de crecimiento considerada. Por ejemplo, en *Lolium perenne*, se obtuvo que el peso de la cariósida estuvo altamente y positivamente correlacionado con el vigor de planta (peso seco aéreo y otros caracteres) en estadios iniciales de crecimiento, pero que estas correlaciones decrecieron a medida que avanzó el crecimiento (Thomas, 1966). En *Andropogon hallii* Hack., se determinó un efecto positivo del peso de la cariósida sobre el vigor de las plantas (peso seco total) después de 45 días desde la emergencia (Glewen & Vogel, 1984). En *Panicum virgatum*, se determinó (en diferentes estadios postemergencia) que el peso de la cariósida tuvo un efecto positivo en el crecimiento y desarrollo de las plantas (peso seco aéreo y otros caracteres) sólo hasta los 42 días luego de la emergencia (Smart & Moser, 1999). Los resultados obtenidos en esta tesis, donde la evaluación del peso seco total se realizó con plantas de 32-38 días postemergencia, no coinciden con lo expuesto por dichos autores. No obstante, en un estudio donde se evaluaron tres períodos postemergencia en *Agropyron psammophilum*, se determinó que el efecto del tamaño la cariósida sobre el vigor de la planta (peso seco total y otros caracteres) fue cambiante, resultando significativo a los 10-20 días, no significativo a los 30-40 días y significativo a los 50-60 días (Zang & Maun, 1990).

En P2 se encontró una correlación positiva ($p \leq 0,01$) entre el peso de la cariósida y el número de raíces adventicias mayores a 1 cm, mientras que en P1 estos caracteres variaron en forma independiente. Por lo tanto, estos resultados muestran

una diferencia interpoblacional en la asociación de dos de los caracteres vinculados a la implantación. Por otra parte, en ambas poblaciones se encontró que el número de raíces adventicias mayores a 1 cm y la longitud de la raíz adventicia más larga estuvieron positivamente correlacionados ($p \leq 0,01$) con el peso seco total de las plantas. Esto indicaría que la precocidad en la emisión de raíces adventicias sería un carácter determinante del vigor de las plantas. Estos resultados concuerdan con lo informado en un estudio en *Bouteloua gracilis* (Wilson et al., 1976).

También se destaca la importancia del número de macollas, ya que puede influir afectando la relación fuente-destino de los fotosintatos utilizados para el crecimiento (Smart et al., 2003). Por ejemplo, en *Festuca arundinacea* se determinó que plantas con mayor número de macollas tuvieron menor biomasa de raíces más cortas (Song et al., 1990; Skinner & Nelson, 1994). En esta tesis se obtuvo que el número de macollas por plántula en *P. vaginatum* se correlacionó positivamente ($p \leq 0,05$) con el peso seco radical, y fue independiente de la longitud de raíces seminales.

Los resultados obtenidos justifican la futura exploración sobre la existencia de causas genéticas de correlación, debido a su posible aplicación en la selección indirecta para acelerar la mejora genética del vigor de planta.

Se encontró variabilidad dentro y entre las poblaciones estudiadas de *P. vaginatum* Buckley en los caracteres longitud de raíces seminales y adventicias, y altura de macolla, lo que implica expectativas de respuesta a la selección entre y dentro de las poblaciones. La presencia de variabilidad sólo dentro de las poblaciones en el vigor de las plantas y en el número de macollas sugiere la conveniencia de la selección intrapoblacional.

La asociación determinada entre algunos caracteres, especialmente altura y número de macollas, con el vigor de las plantas implica que dichos caracteres podrían estar involucrados como determinantes del vigor, y por lo tanto deberían ser considerados en el diseño de la mejora genética para lograr el éxito de la implantación.

CARACTERES ASOCIADOS A LA IMPLANTACIÓN Y PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FORRAJE Y SEMILLAS

6.1 Introducción

La producción de ganado de carne en el 75 % del territorio continental de Argentina, caracterizado por la presencia de zonas áridas y semiáridas, está basada en el pastoreo de la vegetación nativa (Busso & Fernández, 2018). Así, los pastizales naturales son importantes tanto como factor de producción (por ser el sustento de buena parte de la producción ganadera), como por ser reservorio de biodiversidad cumpliendo un servicio ecológico o ambiental con el consecuente impacto socio-económico (Mujica, 2010a, b).

Los pastizales del centro de Argentina se caracterizan por la escasez de especies de gramíneas perennes nativas primavera-estivales, palatables al ganado doméstico (Busso et al., 2004). Dentro de esta región, específicamente en el sur de la provincia fitogeográfica del Monte, una especie de importancia es *Pappophorum vaginatum* Buckley (prácticamente única gramínea perenne disponible durante la época estival para consumo animal). Esta especie es la gramínea perenne C₄, nativa, palatable más abundante durante la primavera y el verano (Giorgetti et al. 1997, 1998, 1999, 2000a, b). Esta situación la expone al sobrepastoreo y actualmente se la considera como una especie decreciente (Torres et al., 2013a). *Pappophorum* Schreb es un género de gramíneas nativo del continente americano con 10 especies, de las cuales 7 habitan en zonas áridas y semiáridas de Argentina y regiones limítrofes (Pensiero, 1986). *Pappophorum vaginatum* Buckley puede ser hallada en Argentina no sólo en la Provincia Fitogeográfica del Monte, sino también en la Pampeana, del Espinal y sudeste de la Chaqueña (Pensiero, 1986).

Una contribución valiosa para la recuperación, mantenimiento y aumento de la biodiversidad es la domesticación de especies nativas y naturalizadas con aptitud forrajera, así como también las introducciones (Mujica, 2010a, b). Por otra parte, el establecimiento de forrajeras mejoradas, entre otras tecnologías, puede aumentar sustancialmente la capacidad de carga del área semiárida Argentina (Garbulsky & Deregibus, 2004). Así, desde hace varias décadas numerosas investigaciones se centraron en el estudio de especies introducidas adaptadas a condiciones semiáridas (Vera et al., 1973; Covas, 1974; Cangiano, 1977; Covas, 1991; Stritzler et al., 1996; Veneciano et al., 1994; Veneciano & Terenti, 1997; Petruzzi, 2003; Veneciano, 2006; Ferri, 2014). Sin embargo, el germoplasma nativo de la región semiárida de Argentina resulta de especial interés y valor en el mejoramiento genético. Esto es debido a su historia de evolución y adaptación a las limitantes climáticas y edáficas de dicha región (Martin, 2005). Además, muchos estudios a nivel global reportaron que las especies nativas son las más adecuadas para la restauración de ecosistemas en zonas áridas y semiáridas (Waters & Shaw, 2003). No obstante, según Tyler et al. (1987), previo a su utilización deben atravesar sucesivas etapas de evaluación, desde caracterización y evaluación inicial en invernáculo o a campo como plantas aisladas, a ensayos comparativos de rendimiento y ensayos de pastoreo.

Estudiar variabilidad en caracteres de interés agronómico así como dilucidar las estrategias de adaptación de las especies nativas o naturalizadas resulta de fundamental importancia. La mejora genética debería orientarse a lograr la

combinación de los efectos de la selección natural en el ambiente local con aquellos de la selección artificial para caracteres agronómicos, especialmente los vinculados al control de la implantación y a la producción de forraje y semillas (Mujica, 2010a, b).

En este sentido, se realizaron diversas investigaciones en especies forrajeras perennes nativas estivales. Por ejemplo, algunas estuvieron relacionadas a (1) dilucidar estrategias de habilidad competitiva en *P. vaginatum* (Torres et al., 2013a, b) y en *Trichloris crinita* (Greco & Cavagnaro, 2005); (2) estudiar la variabilidad fenotípica para distintos caracteres de interés agronómico en poblaciones de *T. crinita* (Quiroga, 2011; Zabala et al., 2011; Gil Báez et al., 2015; Kloster et al., 2016), *Setaria lachnea* (Pensiero et al., 1995, 2005, 2011; Exner et al., 2010) y *P. vaginatum* (Entio et al., 2014b, c); y (3) evaluar la variabilidad genética en *T. crinita* (Cavagnaro et al., 2006). También se estudió la reincorporación estratégica de especies forrajeras nativas, para recuperar áreas degradadas (Quiroga et al., 2009) y aumentar la capacidad de carga animal (Passera et al., 1992).

Más específicamente, en poblaciones de *P. vaginatum* se estudiaron la variabilidad en la germinación de las carióspsides con sus coberturas (Casalla et al., 2010; Entio et al., 2011) y en caracteres vinculados al crecimiento inicial de las plántulas (Entio et al., 2014c). Por su parte, en poblaciones de *Setaria lachnea* se estudiaron la variabilidad en (1) la germinación y otros caracteres reproductivos (peso y producción de semillas, compatibilidad, cleistogamia) (Pensiero et al., 1995); (2) el sistema de polinización (Pensiero et al., 2005); (3) varios caracteres vegetativos (altura de planta, y longitud y ancho de lámina) y reproductivos (emergencia de panojas, fecundidad, germinación) y sus correlaciones (Pensiero et al., 2011); y (4) varios caracteres reproductivos (fenología de la floración, número de panojas, porcentaje de fructificación) y sus correlaciones (Exner et al., 2010). Los estudios en poblaciones de *T. crinita*, en general se enfocaron en la (1) producción de biomasa (Díaz et al., 1970; Greco & Cavagnaro, 2002; Cavagnaro et al., 2006; Gabutti et al., 2011; Gil Báez et al., 2015); (2) variabilidad en la germinación (Zabala et al., 2011; Kloster et al., 2016); (3) el crecimiento inicial (Kloster et al., 2016); (4) altura, número de macollas y ramificaciones y hábito de crecimiento (Quiroga, 2011); y (5) determinación de parámetros de calidad (Silva Colomer et al., 1989). Además, algunas de estas investigaciones estudiaron correlaciones entre caracteres (Cavagnaro et al., 2006; Gil Báez et al., 2015).

Un mecanismo importante que contribuye a la persistencia de las especies en los pastizales es la resiembra natural, la cual depende del aporte de diseminulos viables al reservorio del suelo. Esto fue comprobado en el campo bajo condiciones de pastoreo, por ejemplo, con la variedad "Aguapé" de *Lotus tenuis* (Entio & Mujica, 2011). El banco de semillas del suelo puede funcionar como tal si las propágulas conservan su viabilidad (Baker, 1989). Además, la persistencia del banco de semillas del suelo es clave por ser una reserva de adaptabilidad genética acumulada para la población sobre la que puede actuar la selección natural (Simpson et al., 1989). Las gramíneas perennes del Monte forman bancos transitorios; sin embargo, la transitoriedad parece estar poco asociada a la germinación (Marone et al., 2003). El principal factor de pérdida de semillas es la depredación por granívoros (Marone et al., 2000). No obstante, Entio et al. (2014a) plantearon un posible efecto positivo de las hormigas en el establecimiento de nuevas plántulas de *P. vaginatum* a partir de carióspsides remanentes de la granivoría en micrositios cercanos a los nidos. Finalmente, Busso & Bonvissuto (2009) estudiaron el banco de semillas de varias especies en distintos momentos y microambientes característicos de la zona de estudio.

El objetivo de este estudio fue analizar la variabilidad de caracteres vinculados a la implantación, crecimiento inicial y producción y calidad de forraje y semillas en cuatro poblaciones nativas espontáneas de *P. vaginatum* de la región semiárida de la provincia de Buenos Aires. Así, se planteó la hipótesis de que existe variabilidad en caracteres de interés agronómico dentro y entre poblaciones espontáneas de *P. vaginatum* en la región semiárida de la provincia de Buenos Aires, lo que permite identificar materiales promisorios para programas de mejoramiento genético.

6.2 Materiales y Métodos

Sitios de recolección de las semillas

Semillas de *Pappophorum vaginatum* se recolectaron de cuatro poblaciones espontáneas de la región semiárida de la provincia de Buenos Aires en diciembre de 2012. Las ubicaciones y coordenadas geográficas de las poblaciones P1, P2, P3 y P4 se muestran en la Fig. 3.1 y Tabla 3.1, respectivamente. En la zona de recolección de P1 y P2 la precipitación media anual histórica (1911 a 2011) es de 665,1 mm (INTA, 2012). La temperatura media anual es de 14,9 °C, siendo las medias anuales máximas y mínimas de 21,3°C y 8°C, respectivamente. Las temperaturas máximas y mínimas absolutas son 42,5 °C (enero) y -12 °C (julio). La humedad relativa media histórica (1962 a 2011) es de 66,25 % (INTA, 2012). El relieve es típicamente una llanura con cobertura de estrato herbáceo. En la zona de recolección de P3 la precipitación media anual histórica (1959 a 2010) es de 648,5 mm (SMN, 2017). La temperatura media anual es de 15,4 °C siendo las medias anuales máximas y mínimas de 22,8°C y 9°C, respectivamente. Las temperaturas máximas y mínimas absolutas son 43,8 °C (enero) y -11,8 °C (julio). La humedad relativa media histórica (1960 a 2014) es de 63,7 % (SMN, 2017). El relieve es una llanura ondulada con lomas arenosas con cobertura de estrato herbáceo y comunidades arbustivas secundarias. En la zona de recolección de P4 la precipitación media anual histórica (1981 – 2016) es de 434,2 mm (MA-BA, 2016). La temperatura media anual es de 14,1 °C siendo las medias anuales máximas y mínimas de 20,9 °C y 7,4 °C, respectivamente. Las temperaturas máximas y mínimas absolutas son 42,1 °C (enero) y -8,6 °C (julio). La humedad relativa media histórica (1981 - 2016) es de 65,5 % (MA-BA, 2016). El relieve es típicamente una llanura con cobertura de estrato arbustivo abierto y estrato herbáceo. En la Figura 6.1 se pueden observar los paisajes típicos en los sitios de recolección de las poblaciones estudiadas.



Figura 6.1. Paisajes típicos en los sitios de recolección de semillas de las poblaciones (P1, P2, P3, P4) estudiadas.

Estudios en condiciones semi-controladas

Germinación

Luego de su recolección (12/2012), las semillas de las cuatro poblaciones permanecieron almacenadas en sobres de papel a temperatura ambiente de laboratorio hasta que se realizó un ensayo de germinación inicial (03/2013) en condiciones de fluctuación de luz natural del laboratorio [12 h luz/12 h oscuridad; intensidad lumínica (PAR) promedio de $11,2 \pm 1,05 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ (media \pm 1 EE)]. Las mediciones de radiación solar se realizaron con un sensor PAR CAVADEVICES. El diseño experimental fue completamente aleatorizado ($n=5$) y la unidad experimental fue una caja de Petri (9 cm de diámetro) con 50 cariósides. Las cariósides fueron colocadas con sus envolturas (glumelas: lemma y pálea) sobre papel de filtro humedecido para su germinación. Luego de 24 h de imbibición, y cada 24 h durante todos los días que duró el ensayo, se registró el número de cariósides germinadas (radícula \geq 3mm) y controló que el papel de filtro estuviera humedecido. El ensayo finalizó luego de cuatro días consecutivos sin germinación (desde el día 17 al 21 desde la imbibición). Se determinaron (1) el porcentaje de germinación acumulada, (2) el índice de velocidad de germinación, y (3) tiempo hasta 50 % de germinación acumulada. La temperatura se registró con un termómetro digital modelo

ThermoMeter TA318. El rango de temperaturas en el laboratorio durante el desarrollo del estudio fluctuó entre 24,5 °C y 17 °C y las temperaturas medias máximas y mínimas \pm error estándar fueron 22,5 °C \pm 0,44 y 19,7 °C \pm 0,44, respectivamente. Estas temperaturas estuvieron dentro del rango de temperaturas medias mensuales del aire medidas cerca de las parcelas en la etapa reproductiva de *P. vaginatum* (Fig. 2.3). El índice de velocidad de germinación se calculó: $IVG = G1/T1 + G2/T2 + \dots + Gn/Tn$, donde G= carióspsides germinadas; T= día de germinación; n= día del último control de germinación (Maguire, 1962).

Emergencia

El 23/08/2013 se sembraron en bandejas plásticas de 128 celdas (5 cm de altura, 28 cm de ancho y 54 cm de largo), con sustrato mezcla de suelo de la Chacra Experimental Patagones MA-BA con arena (relación 3:1 v/v), 50 carióspsides con sus envolturas (glumelas: lemma y pálea) de cada uno de 30 genotipos diferentes de cada población (50 x 30 x 4= 6000 carióspsides). El volumen de cada celda fue de 24 cm³. El diseño experimental fue completamente aleatorizado (n=30) y la unidad experimental consistió en 16 celdas con 50 carióspsides (14 celdas con tres carióspsides y 2 celdas con cuatro carióspsides). Las bandejas plásticas se mantuvieron a la intemperie en La Plata (34°56'13" S, 57°56'41" O) en condiciones semi-controladas (sin incidencia de las precipitaciones) manteniendo riego para evitar déficit hídrico (las bandejas plásticas se registraron diariamente y el riego se aplicó procurando que el volumen de tierra de cada celda estuviera siempre saturado de humedad). El riego se detuvo cada vez que comenzó a salir agua gravitacional del fondo de la celda. La humedad (%) y temperatura media, y temperaturas medias máximas y mínimas del aire \pm error estándar durante el período de estudio fueron 79,9 % \pm 2,7; 11,8 °C \pm 1,1; 17,5 °C \pm 1,2 y 6,8 °C \pm 1,2; respectivamente (FCAYF-EEJH, 2013). Estas temperaturas del aire son similares a las ocurridas en la Chacra Experimental Patagones en el mes de septiembre (Fig. 2.3). A los 11 días de la siembra comenzó la emergencia de las plántulas (ápice de la 1ra hoja visible en superficie) y se realizó el primer registro. Luego, cada 3 días durante todo el período que duró el ensayo, se registró el número de plántulas emergidas (día 14, 17, 20 y 23 desde la siembra). El ensayo finalizó luego de cinco días consecutivos sin emergencia de plántulas (desde el día 20 al 25 desde la siembra). Se determinaron (1) el porcentaje de emergencia acumulada y (2) el índice de velocidad de emergencia. El índice de velocidad de emergencia se calculó: $IVE = E1/T1 + E2/T2 + \dots + Gn/Tn$, donde E= plántulas emergidas; T= día de emergencia; n= día del último control de emergencia.

Estudio de campo

El 27/09/2013, 12 plantas de cada uno de 9 genotipos de cada población, obtenidas luego del estudio de emergencia, se trasplantaron a bandejas plásticas de 72 celdas (5 cm de altura, 28 cm de ancho y 54 cm de largo) con sustrato mezcla de suelo de la Chacra Experimental Patagones MA-BA con arena (relación 3:1 v/v). Cada celda tuvo un volumen de 55 cm³. Esta etapa también fue conducida a la intemperie en La Plata (34°56'13" S, 57°56'41" O) en condiciones semi-controladas (sin incidencia de las precipitaciones) manteniendo riego para evitar déficit hídrico (las bandejas plásticas se registraron diariamente y el riego se aplicó procurando que el volumen de tierra de cada celda estuviera siempre saturado de humedad). El riego se detuvo cada vez que comenzó a salir agua gravitacional del fondo de la celda. La humedad (%) y temperatura media y temperaturas medias máximas y mínimas del aire durante todo el período estudiado en La Plata (23/8/2013-25/10/2013) \pm error estándar fueron 81,8

% \pm 0,6; 13,2 °C \pm 0,6; 18,7 °C \pm 0,6 y 8,2 °C \pm 0,6; respectivamente (FCAyF-EEJH, 2013). El 25/10/2013 las 6 plantas de cada uno de los 9 genotipos (líneas puras) de cada población (6 plantas x 9 genotipos x 4 poblaciones x 2 repeticiones= 432 plantas) se trasplantaron a un ensayo de campo (0,5 m entre genotipos/filas x 0,25 m entre plantas dentro de cada fila) con un diseño experimental de bloques completos al azar (n=2) en la Chacra Experimental Patagones MA-BA (40° 39' S; 62° 54'O) (Fig. 2.2). Para asegurar la supervivencia de las plantas, se aplicó un riego (hasta inundar cada surco) al inicio de cada mes (diciembre, enero, febrero) durante el primer verano. El estudio finalizó el 06/06/2016 (reposo invernal luego de los estudios efectuados desde la implantación). Durante el período estudiado se registraron y determinaron caracteres vinculados a la implantación y crecimiento inicial, y a la producción y calidad de biomasa aérea y semillas. Además, se registró la supervivencia de plantas. Para el estudio de la producción de biomasa seca aérea se realizaron cuatro cortes (C1: 25/5/2015; C2: 26/11/2015; C3: 29/02/2016; C4: 06/06/2016) durante el período de estudio después de la implantación. En cada momento de corte se cortaron todas las plantas. Cada planta se cortó a 5 cm de altura, se colocó en sobre de papel, se secó en estufa (6 días a 60 °C) y se pesó (g MS/planta). Para el estudio de los parámetros de calidad de la materia seca primero se realizó una mezcla de materia seca de todas las réplicas por población y luego se tomó una muestra homogénea de 120 g de materia seca por población. Dichas muestras, se enviaron al laboratorio donde fueron divididas en 3 sub-muestras (repeticiones) cada una para su análisis. Entre los parámetros abordados para el estudio de la producción y calidad de semillas se calculó el número de antecios germinables por planta (AG). Este valor se obtuvo ajustando el número de antecios por planta (Apl) por el porcentaje de germinación acumulada obtenido en un ensayo de laboratorio realizado en septiembre de 2016 con cariósides cosechadas el 05/01/2016 del ensayo de campo. Dicho ensayo tuvo un diseño experimental completamente aleatorizado (n=6) y la unidad experimental fue una caja de Petri (9 cm de diámetro) con 50 cariósides. Las cariósides fueron colocadas con sus envolturas (glumelas: lemma y pálea) sobre papel de filtro humedecido para su germinación, en condiciones de fluctuación de luz natural del laboratorio [12 h luz/12 h oscuridad; intensidad lumínica (PAR) promedio 10,2 \pm 1,04 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ (media \pm 1 EE)]. Las mediciones de radiación solar se realizaron con un sensor PAR CAVADEVICES. Luego de 24 h de imbibición, y cada 24 h durante todos los días que duró el ensayo, se registró el número de cariósides germinadas (radícula \geq 3mm) y controló que el papel de filtro estuviera humedecido. El ensayo finalizó luego de cuatro días consecutivos sin germinación (desde el día 18 al 22 desde la imbibición). Se determinaron (1) el porcentaje de germinación acumulada, (2) el índice de velocidad de germinación, y (3) tiempo hasta 50 % de germinación acumulada. La temperatura se registró con un termómetro digital modelo ThermoMeter TA318. El rango de temperaturas en el laboratorio durante el desarrollo del estudio fluctuó entre 24 °C y 17,1 °C. Las temperaturas medias máximas y mínimas \pm error estándar fueron 22,9 °C \pm 0,44 y 20,1 °C \pm 0,44, respectivamente. Dichas temperaturas estuvieron dentro del rango de temperaturas medias mensuales del aire medidas cerca de las parcelas de campo durante la etapa reproductiva de *P. vaginatum* (Fig. 2.3). El índice de velocidad de germinación se calculó: $IVG = G1/T1 + G2/T2 + \dots + Gn/Tn$, donde G= cariósides germinadas; T= día de germinación; n= día del último control de germinación (Maguire, 1962).

Además, se calculó un valor de resiembra potencial (RP). Este valor se obtuvo ajustando AG por el porcentaje de emergencia acumulada obtenido del ensayo inicial en condiciones semi-controladas. Para el análisis de la variable supervivencia de

plantas se tomó como unidad experimental 1 fila o genotipo con 6 plantas al inicio del estudio ($n=9$; $6 \times 9 = 54$ plantas en cada una de 2 parcelas experimentales por cada una de 4 poblaciones estudiadas; Fig. 2.2). En la Tabla 6.1 se presentan detalles de las fechas de muestreo y de todos los caracteres estudiados.

Análisis Estadístico

En los estudios en condiciones semi-controladas se aplicó ANOVA simple para la comparación de las variables entre las poblaciones.

En el estudio de campo, el diseño experimental, permitió aplicar ANOVA anidado (genotipos/filas anidados en Poblaciones) en un diseño de parcela dividida (siendo las poblaciones quienes ocupaban la gran parcela y los genotipos/filas las subparcelas) lo que permitió la comparación de la mayoría de las variables tanto entre poblaciones como dentro de las mismas. Solamente se aplicó ANOVA simple para comparar los parámetros de calidad y el porcentaje de supervivencia. En todos los casos, la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0,05. Previo al análisis, en los estudios en condiciones semi-controladas, la variable tiempo hasta 50 % de germinación acumulada fue transformada con $\ln(x)$ a fin de cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad (Sokal & Rohlf, 1984); en el estudio de campo, varias variables fueron transformadas (ver detalle en Tabla 6.1) a fin de cumplir con dichos supuestos. En las figuras y tablas se presentan los valores sin transformar.

Todos los análisis estadísticos se realizaron usando el programa Statistica 7.1 (StatSoft, Inc, 2005).

Tabla 6.1. Detalle de las fechas de muestreo y de los caracteres estudiados.

Fecha de muestreo (n°)	Estadío fenológico predominante	Abreviatura	Descripción [transformación para análisis estadístico]
10/12/2013 (1)	Botón floral	MRG1	-se contó el n° de Macollas Reproductivas Grado 1 por planta (botón floral).
		MRG2	-se contó el n° de Macollas Reproductivas Grado 2 por planta (< 50 % de panoja emergida) $[\ln(x+0,5)]$.
		MRG3	-se contó el n° de Macollas Reproductivas Grado 3 por planta (> 50 % de panoja emergida) $[\ln(x+0,5)]$.
		MRG4	-se contó el n° de Macollas Reproductivas Grado 4 por planta (panoja emergida inmadura) $[\ln(x+0,5)]$.
		MRG5	-se contó el n° de Macollas Reproductivas Grado 5 por planta (panoja emergida madura) $[\ln(x+0,5)]$.
		MRT	-se calculó el n° de Macollas Reproductivas totales por planta $(G1+G2+G3+G4+G5) [\sqrt{(x)}]$.
11/02/2014 (2)	Dispersión semillas; grano maduro	MRG5	-ver descripción anterior $[\sqrt{(x)}]$.
17/09/2014 (3)	Inicio de crecimiento vegetativo (fin reposo invernal)	Db	-se midió el diámetro basal por planta (cm).
		MHV	-se contó el n° de macollas con hojas verdes por planta.
		LL	-se midió la longitud de la lámina más larga por planta (cm) $[\sqrt{(x)}]$.
05/11/2014 (4)	Botón floral	Db	-ver descripción anterior.
		A	-se midió la altura por planta, desde la superficie del suelo hasta el extremo de la hoja más larga sosteniéndola verticalmente (cm).
		MRG1	-ver descripción anterior.
		MRG2-G5	-se contó el n° de Macollas Reproductivas G2-G5 por planta $[\sqrt{(x)}]$.
MRT	-se calculó el n° de Macollas Reproductivas Totales por planta $(MRG1+MRG2-G5)$.		

Tabla 6.1 (cont.). Detalle de las fechas de muestreo y de los caracteres estudiados.

Fecha de muestreo (n°)	Estadio fenológico predominante	Abreviatura	Descripción [transformación para análisis estadístico]
16/12/2014 (5)	Grano maduro; grano inmaduro; botón floral	MV	-se contó el n° de Macollas Vegetativas por Planta $[\ln(x)]$
		MRT	-ver descripción anterior $[\sqrt{(x)}]$.
		AP	-se determinó el n° de antecios por panoja por planta (promedio de 2 panojas por planta) $[\ln(x+0,5)]$.
		LP	-se determinó la longitud de panoja por planta (cm) (promedio de 5 panojas por planta).
		Apl	-se calculó el n° de antecios por planta (MRT x AP).
25/05/2015 (6)	Vegetativo (inicio reposo invernal)	C1	-cada planta se cortó a 5 cm de altura, se colocó en sobre de papel, se secó en estufa (6 días a 60°C) y se pesó (g MS/planta) $[\sqrt{(x)}]$.
		Calidad	-una muestra de 120 g de MS por población se envió a laboratorio para analizar (n=3): cenizas (%); proteína, fibra y grasa bruta (%); extracto no nitrogenado (%); total nutrientes digestibles (%); energía metabolizable (Mcal/kg).
26/11/2015 (7)	Grano maduro; grano inmaduro, botón floral	C2	-ver descripción anterior $[\sqrt{(x+0,5)}]$.
05/01/2016 (8)	Grano maduro; grano inmaduro; dispersión semillas	Calidad	-ver descripción anterior.
		MRG4	-ver descripción anterior $[\sqrt{(x+0,5)}]$.
		MRG5	-ver descripción anterior $[\sqrt{(x)}]$.
		MRT	-se calculó el n° de Macollas Reproductivas Totales por planta (MRG4+MG5) $[\sqrt{(x)}]$.
		AP	-ver descripción anterior $[\ln(x+0,5)]$.
		LP	-ver descripción anterior $[\sqrt{(x)}]$.
		Apl	-ver descripción anterior $[\sqrt{(x)}]$.
AG	-se calculó el número de antecios germinables por planta: valor Apl ajustado por el porcentaje de germinación acumulada obtenido de un ensayo de laboratorio luego de la cosecha $[\sqrt{(x)}]$ (ver Mat. y Met. pg. 45 y Fig. 6.29).		
RP	-se calculó la resiembra potencial: valor AG ajustado por el porcentaje de emergencia acumulada obtenido del ensayo inicial en condiciones semi-controladas $[\sqrt{(x)}]$ (ver Mat. y Met. pg. 45 y Fig. 6.3).		

Tabla 6.1 (cont.). Detalle de las fechas de muestreo y de los caracteres estudiados.

Fecha de muestreo (n°)	Estadío fenológico predominante	Abreviatura	Descripción [transformación para análisis estadístico]
05/01/2016 (8)	Grano maduro; grano inmaduro; dispersión semillas	Gac	-se determinó el porcentaje de germinación acumulada.
		IVG	-se calculó el índice de velocidad de germinación (Maguire, 1962).
		T ₅₀	-se determinó el tiempo hasta 50 % de germinación acumulada.
29/02/2016 (9)	Grano maduro; dispersión semillas	C3	-ver descripción anterior [$\sqrt{(x+0,5)}$].
		Calidad	-ver descripción anterior.
06/06/2016 (10)	Vegetativo (inicio reposo invernal)	C4	-ver descripción anterior [$\ln(x+0,5)$].
		Calidad	-ver descripción anterior.
		MS	-se calculó la producción de biomasa seca aérea parcial acumulada por planta (g MS / planta / C1+C2)
		MST	-se calculó la producción acumulada de biomasa seca aérea total por planta (g MS / planta / C1+C2+C3+C4) [$\sqrt{(x)}$].
		Supervivencia	-se calculó el porcentaje de plantas vivas al final del período estudiado.

6.3 Resultados

Estudios en condiciones semi-controladas

Germinación

Los resultados mostraron diferencias significativas entre las poblaciones en los tres parámetros germinativos. La población 3 tuvo un mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de germinación acumulada que P1 (Fig. 6.2). A su vez, P1 no tuvo diferencias ($p > 0,05$) con P2 ni con P4 (Fig. 6.2).

La población 3 también presentó el mayor ($p \leq 0,05$) índice de velocidad de germinación respecto a las otras 3 poblaciones estudiadas (Fig. 6.2). Las poblaciones 1, 2 y 4 no tuvieron diferencias ($p > 0,05$) entre ellas (Fig. 6.2).

Finalmente, P3 tuvo un menor ($p \leq 0,05$) tiempo hasta 50 % de germinación acumulada que P4 (Fig. 6.2). A su vez, dicha variable fue similar ($p > 0,05$) entre P1, P2 y P4 (Fig. 6.2).

Emergencia

La población 3 presentó mayor ($p \leq 0,05$) emergencia acumulada que P4 en todas las fechas luego de la siembra, y que P1 a los 14, 17, 20 y 25 días luego de la misma (Fig. 6.3). No hubo diferencias ($p > 0,05$) en emergencia acumulada entre P2 y P3 en ninguna de las fechas evaluadas luego de la siembra (Fig. 6.3).

Finalmente, P3 tuvo mayor ($p \leq 0,05$) índice de velocidad de emergencia de plántulas que P1 y P4 (Fig. 6.4). Las poblaciones 1, 2 y 4 tuvieron un índice de velocidad de emergencia similar ($p > 0,05$; Fig. 6.4).

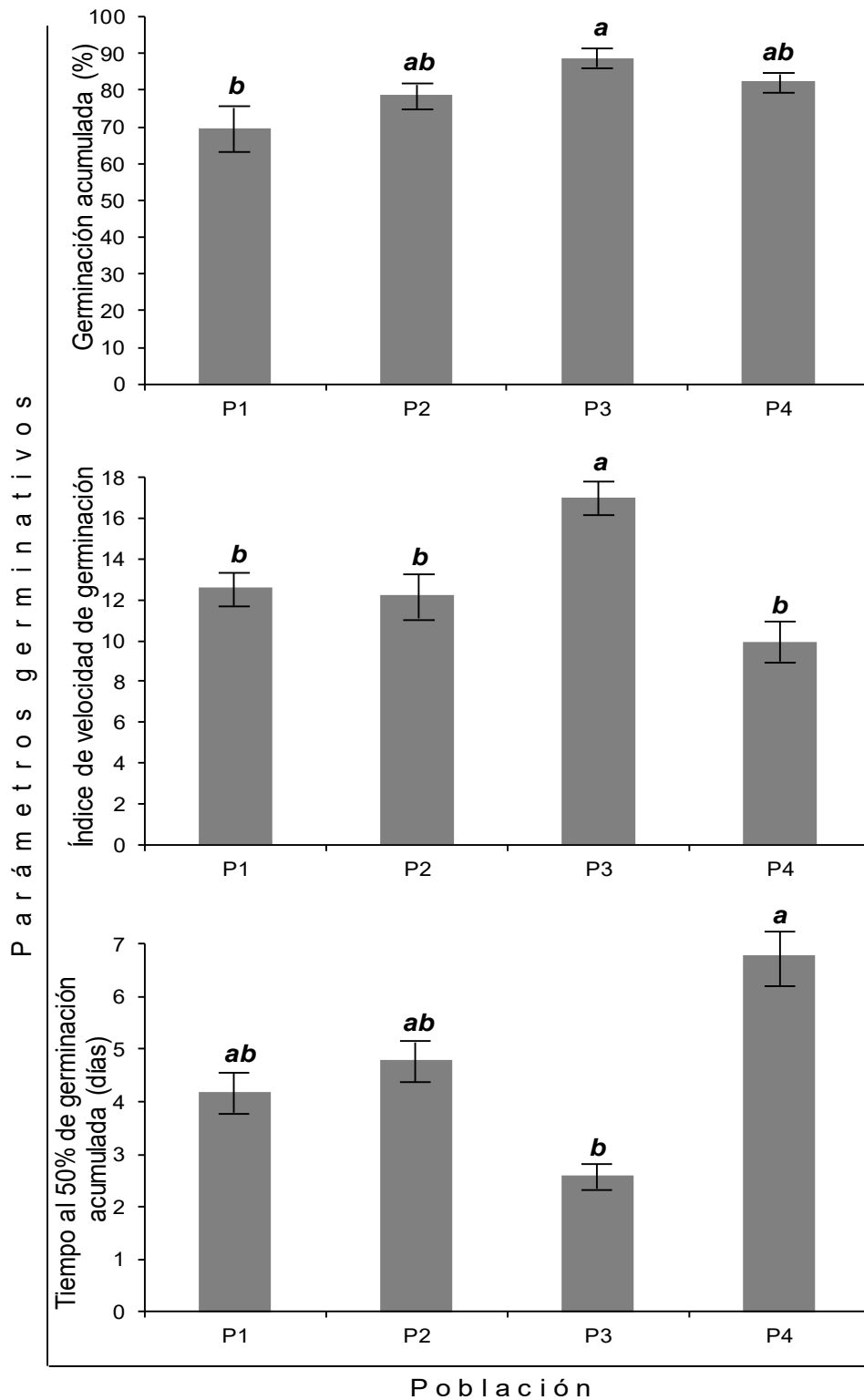


Figura 6.2. Parámetros germinativos de cariósides de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum* recolectadas en la región semiárida de la provincia de Buenos Aires. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=5$. Letras diferentes dentro de cada parámetro indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.

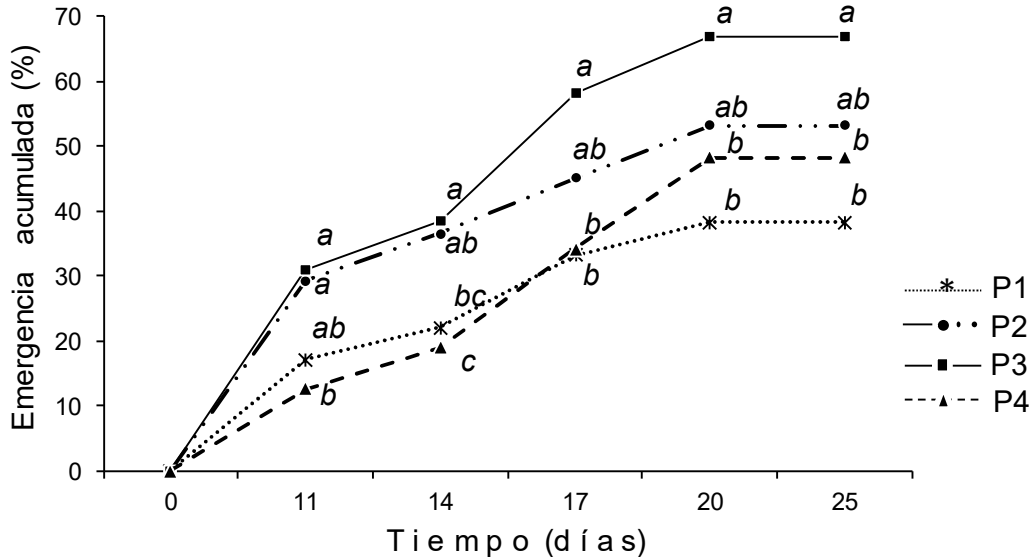


Figura 6.3. Emergencia acumulada (%) de plántulas en cinco fechas (11, 14, 17, 20 y 25 días) después de la siembra (23/08/2013) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Letras diferentes dentro de cada fecha indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones ($n=30$). Prueba de Tukey.

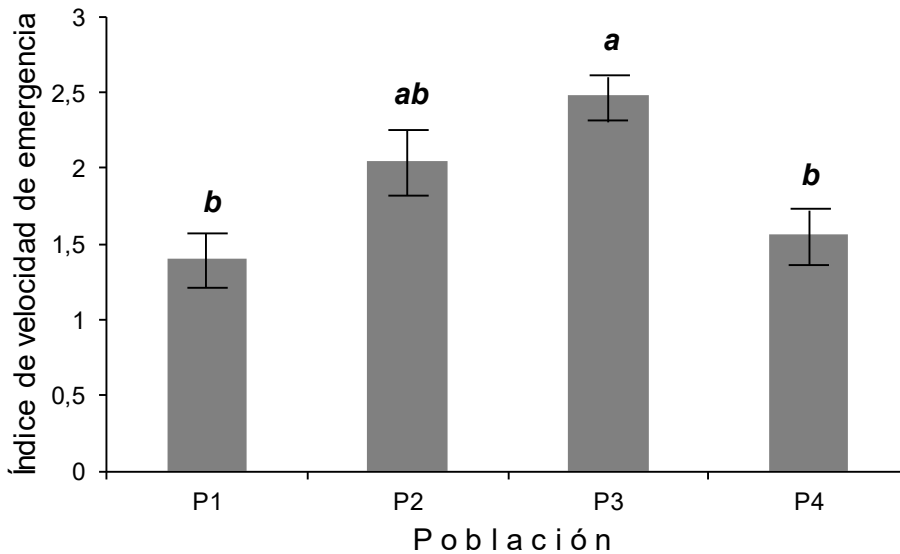


Figura 6.4. Índice de velocidad de emergencia de plántulas en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=30$. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.

Estudio de campo

A los 45 días desde la implantación a campo se observaron diferencias significativas entre ($p < 0,001$; $P1 > P3 > P2 > P4$; Fig. 6.5) y dentro ($p < 0,001$) de las poblaciones (Fig. 6.6) en el número total de macollas reproductivas por planta. Para esta variable, P2 presentó diferencias intrapoblacionales (Fig. 6.6). Respecto al número de macollas reproductivas Grado 1 (botón floral) por planta, se observaron diferencias significativas tanto dentro ($p < 0,001$; P1 presentó diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.6) como entre ($p < 0,001$) poblaciones ($P1 > P3 > P2 > P4$; Fig. 6.5). Para el número de macollas reproductivas Grado 2 (< del 50 % de panoja emergida) por planta no se observaron diferencias significativas dentro ($p = 0,133$; Fig. 6.6) de las poblaciones, aunque si entre ($p < 0,001$) las mismas. Así, P1 resultó superior ($p \leq 0,05$) al resto de las poblaciones, las que no presentaron diferencias ($p > 0,05$) entre ellas (Fig. 6.5). Para el número de macollas reproductivas Grado 3 (> del 50 % de panoja emergida) por planta se observaron diferencias significativas tanto dentro ($p = 0,014$; P2 presentó diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.6) como entre ($p = 0,005$; Fig. 6.5) poblaciones. Así, P1 presentó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con P4. A su vez, P2 y P3 no tuvieron diferencias ($p > 0,05$) con P4 (Fig. 6.5). Para el número de macollas reproductivas Grado 4 (100 % de panoja emergida inmadura) por planta se observaron diferencias significativas dentro ($p < 0,001$; P1 y P2 presentaron diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.6) pero no entre ($p = 0,593$) poblaciones (Fig. 6.5). Finalmente, para el número de macollas reproductivas Grado 5 (100 % de panoja emergida madura) por planta no se observaron diferencias significativas dentro ($p = 0,308$; Fig. 6.6) aunque si entre ($p = 0,007$) poblaciones. Así, P1 resultó superior ($p \leq 0,05$) al resto de las poblaciones, las que no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ellas (Fig. 6.5).

Además, se encontraron diferencias ($p \leq 0,05$) entre los distintos estadios fenológicos dentro de cada población. Así, para P1 resultó que el número de macollas reproductivas Grado 1 fue mayor ($p \leq 0,05$) que el Grado 2, y éste mayor ($p \leq 0,05$) que el Grado 3 que no se diferenció del Grado 4. A su vez el Grado 4 no se diferenció del Grado 5 (Fig. 6.5). Para P2 el número de macollas reproductivas Grado 1 fue superior al Grado 2, que no se diferenció de los Grados 3 y 4. A su vez el Grado 4 fue similar al Grado 5 (Fig. 6.5). Para P3 el número de macollas reproductivas Grado 1 fue superior al Grado 2 que no se diferenció de los Grados 3 y 4. A su vez estos últimos no se diferenciaron del Grado 5 (Fig. 6.5). Finalmente, para P4 el número de macollas reproductivas Grado 1 fue superior al Grado 2 que no se diferenció de los Grados 3 y 4. A su vez estos últimos no se diferenciaron del Grado 5 (Fig. 6.5).

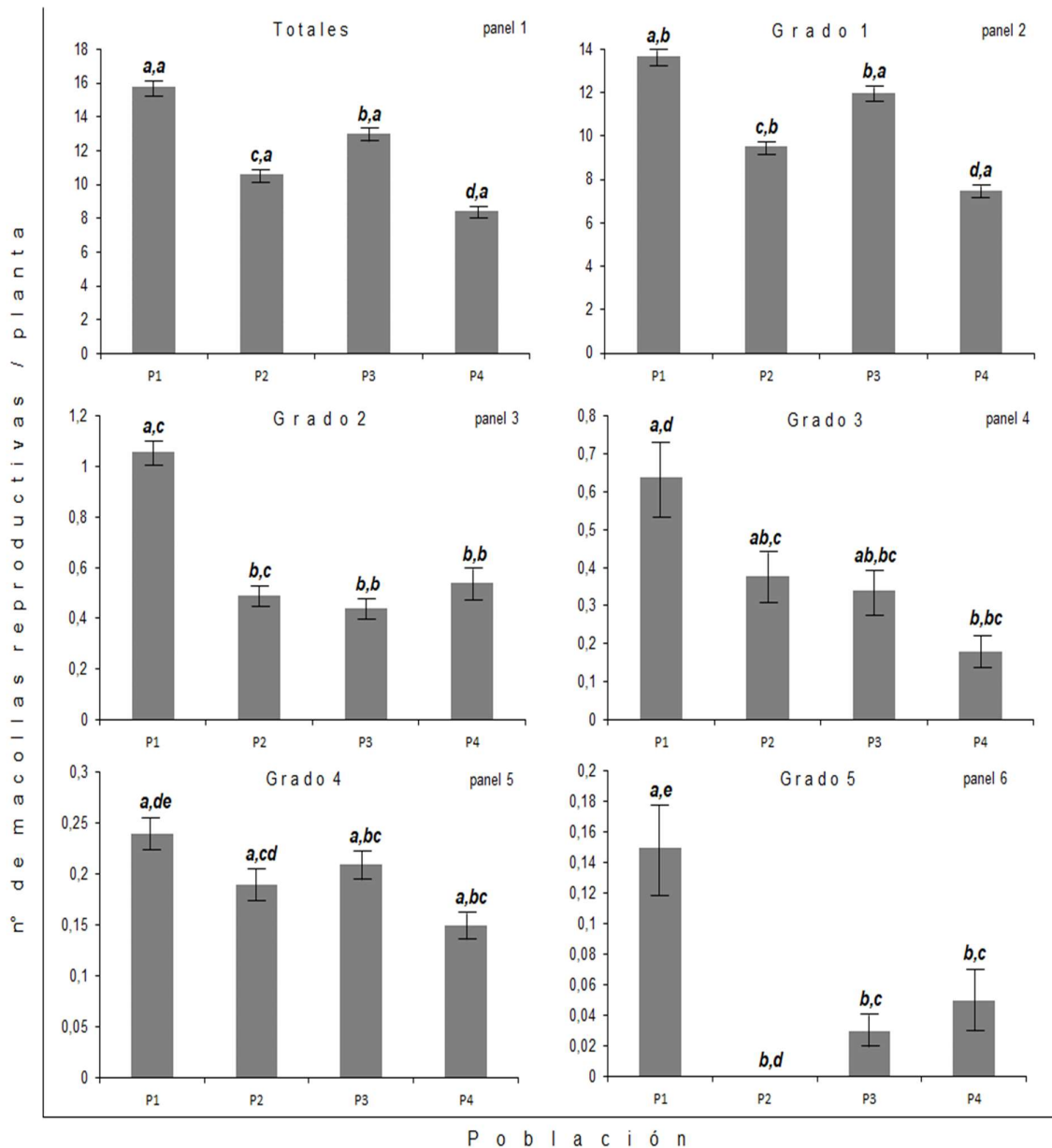


Figura 6.5. Número de macollas reproductivas (Totales y Grado 1: botón floral; Grado 2: < 50 % de panoja emergida; Grado 3: > 50 % de panoja emergida; Grado 4: 100 % de panoja emergida inmadura; Grado 5: 100 % de panoja emergida madura) por planta registrados al inicio de fructificación (10/12/2013) en el año de implantación (25/10/2013) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Letras diferentes a la izquierda de la coma dentro del Total y de cada Grado indican diferencias significativas entre poblaciones [cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=108$]. Letras diferentes a la derecha de la coma indican diferencias significativas entre distintos estadios fenológicos dentro de cada población. Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Note la diferencia de escala entre paneles.

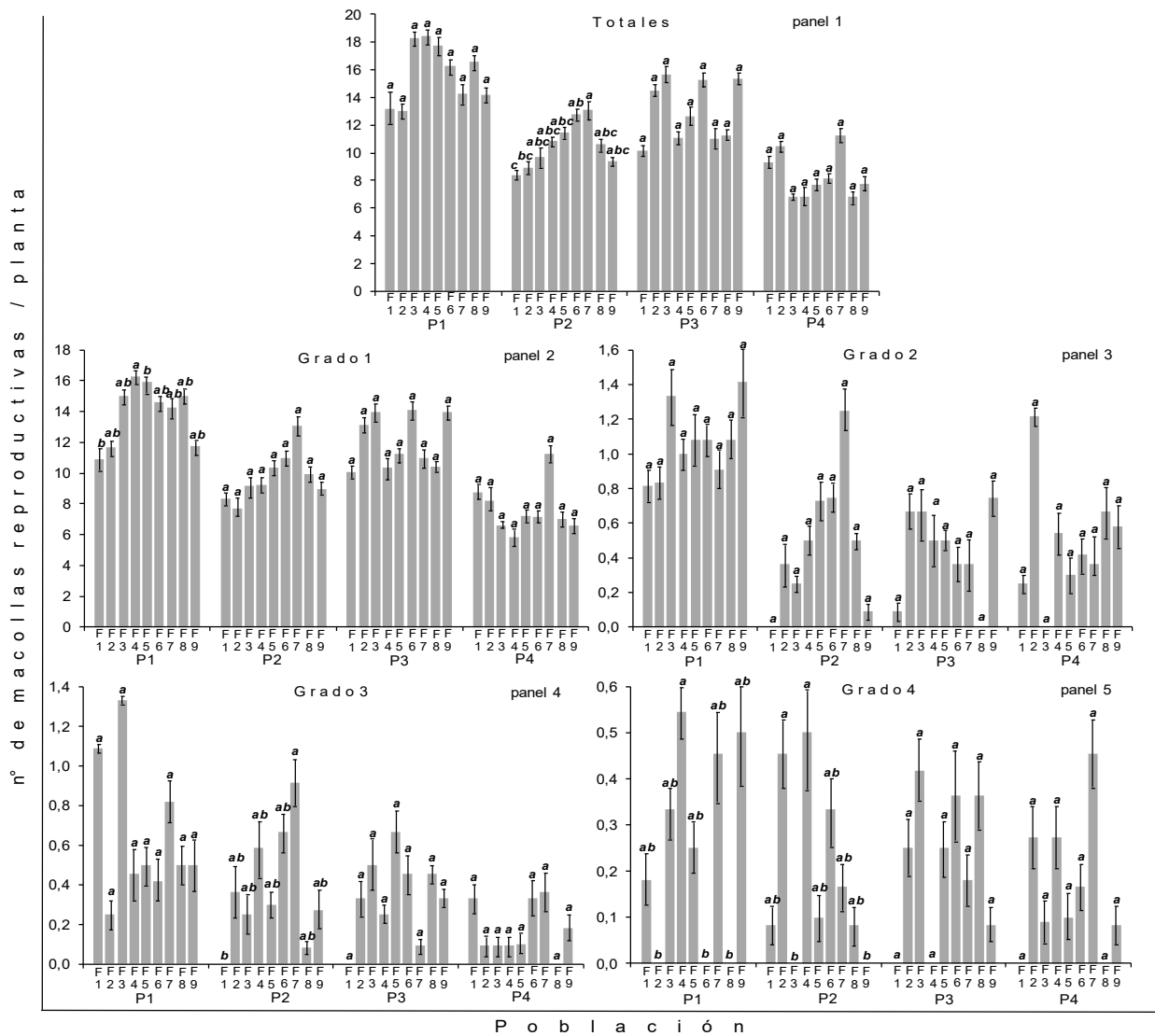


Figura 6.6. Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en el número de macollas reproductivas (Totales y Grado 1: botón floral; Grado 2: < 50 % de panoja emergida; Grado 3: > 50 % de panoja emergida y Grado 4: 100 % de panoja emergida inmadura) por planta registrado al inicio de la fructificación (10/12/2013) en el año de implantación (25/10/2013) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=12$. Letras diferentes (dentro del Total y de cada Grado) dentro de cada población indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de las parcelas. Prueba de Tukey. Note la diferencia de escala entre paneles.

Además, también en el año de implantación pero en una etapa más avanzada de la fructificación [fecha de muestreo (2) (11/02/2014)], se registró nuevamente el número de macollas reproductivas totales por planta (en este caso sólo se encontraron Grado 5) y se observaron diferencias significativas tanto dentro ($p < 0,001$; P2 presentó diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.7) como entre ($p = 0,002$) poblaciones (Fig. 6.8). Así, P1 fue superior ($p \leq 0,05$) a las demás poblaciones que no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ellas (Fig. 6.8).

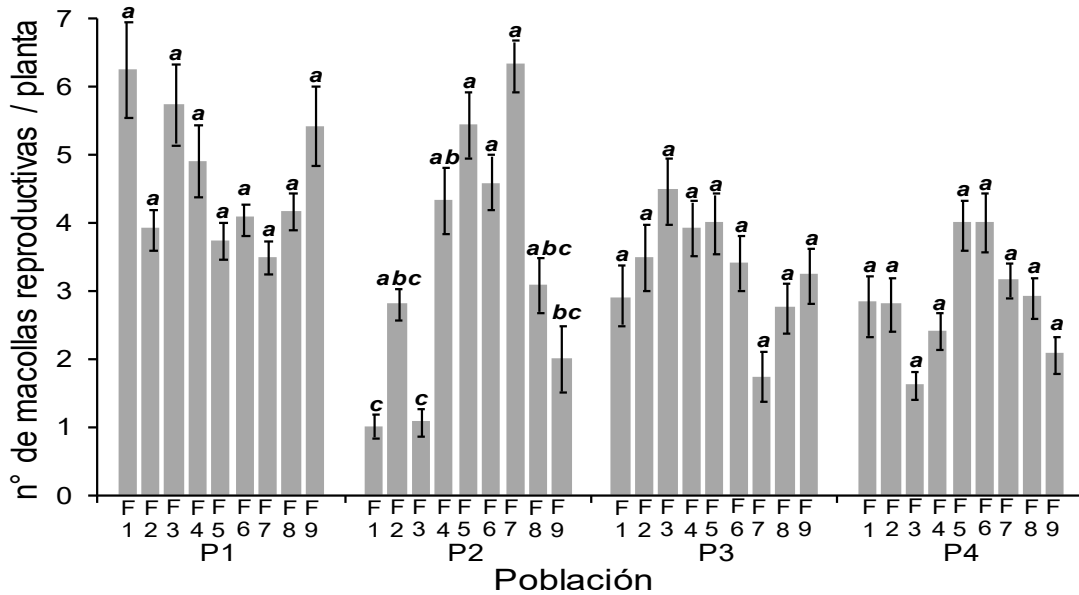


Figura 6.7. Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en el número de macollas reproductivas Totales (100 % Grado 5) por planta registrado en una etapa más avanzada de la fructificación (11/02/2014) en el año de implantación (25/10/2013) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=12$. Letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.

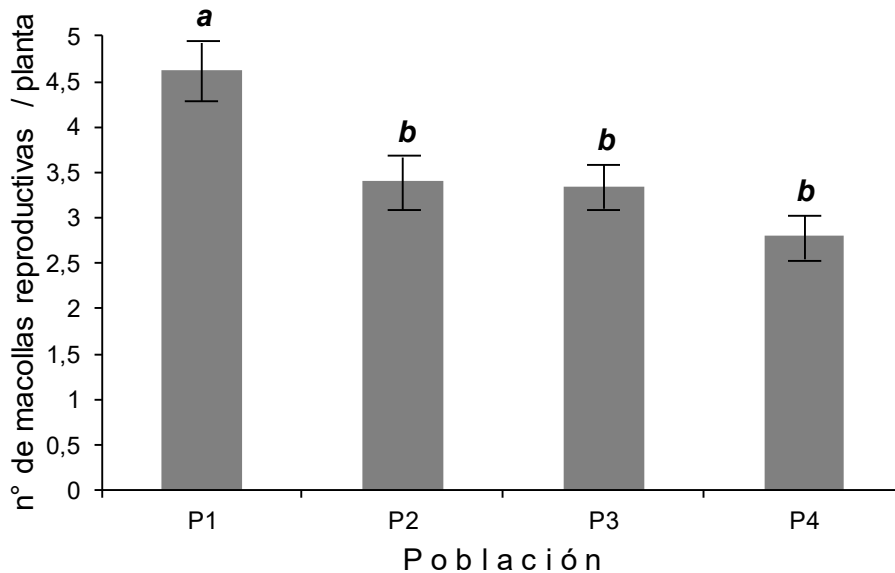


Figura 6.8. Número de macollas reproductivas totales (100% Grado 5) por planta registrados en una etapa más avanzada de la fructificación (11/02/2014) en el año de implantación en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=108$. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.

Para el área basal, registrada tanto en la 3er (17/09/2014: etapa final del año de implantación) como en la 4ta fecha de muestreo (05/11/2014: inicio de floración en el 2do año desde la implantación), no se observaron diferencias significativas entre poblaciones (17/09/2014: $p=0,306$; 05/11/2014: $p=0,178$) (Figs. 6.9 y 6.10), pero si dentro de poblaciones (17/09/2014: $p=0,001$; 05/11/2014: $p<0,001$) (Fig. 6.11). Así, para la etapa final del año de implantación (17/09/2014) P1, P2 y P3 presentaron diferencias intrapoblacionales; mientras que al inicio de floración (05/11/2014) sólo P2 presentó diferencias entre sus genotipos.

También en la 3er fecha de muestreo, se registraron el número de macollas con hojas verdes y la longitud de la lámina más larga por planta (indicadores de crecimiento inicial luego del reposo invernal). Tanto para el número de macollas con hojas verdes como para la longitud de la lámina más larga por planta se observaron diferencias significativas entre ($p<0,001$) y dentro (MHV: $p=0,012$; LL: $p<0,001$) de las poblaciones. Así, para ambos caracteres, P3 y P4 resultaron similares ($p>0,05$) entre ellas y superiores ($p\leq 0,05$) a P1 y P2; mientras que, P1 y P2 no tuvieron diferencias ($p>0,05$) entre ellas (Figs. 6.12 y 6.14). Además, P1 y P4 presentaron diferencias intrapoblacionales en el número de macollas con hojas verdes por planta (Fig. 6.13), y P2 y P4 en la longitud de la lámina más larga por planta (Fig. 6.15).

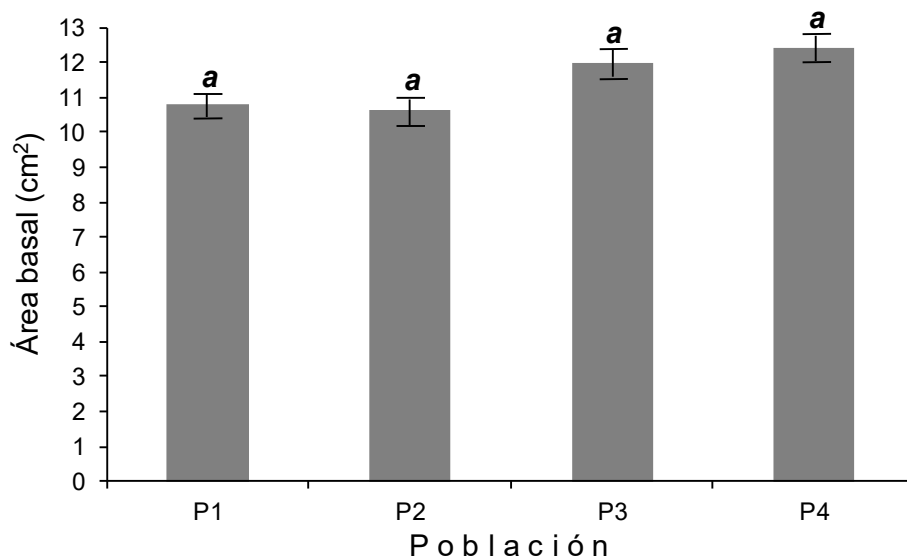


Figura 6.9. Área basal (cm²) al finalizar el año de implantación (17/09/2014) en plantas de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=103$. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p\leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.

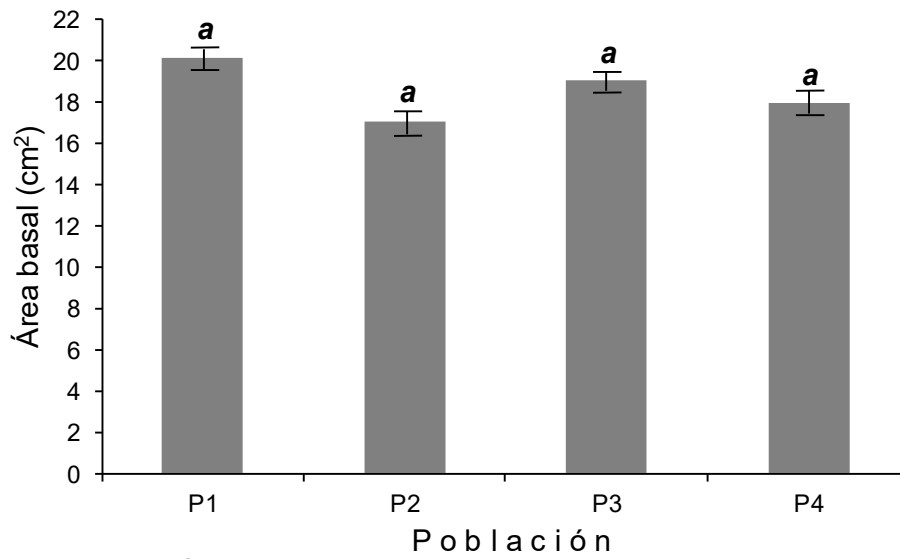


Figura 6.10. Área basal (cm²) al inicio de floración (05/11/2014) en el 2do año desde la implantación (25/10/2013) en plantas de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=102. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.

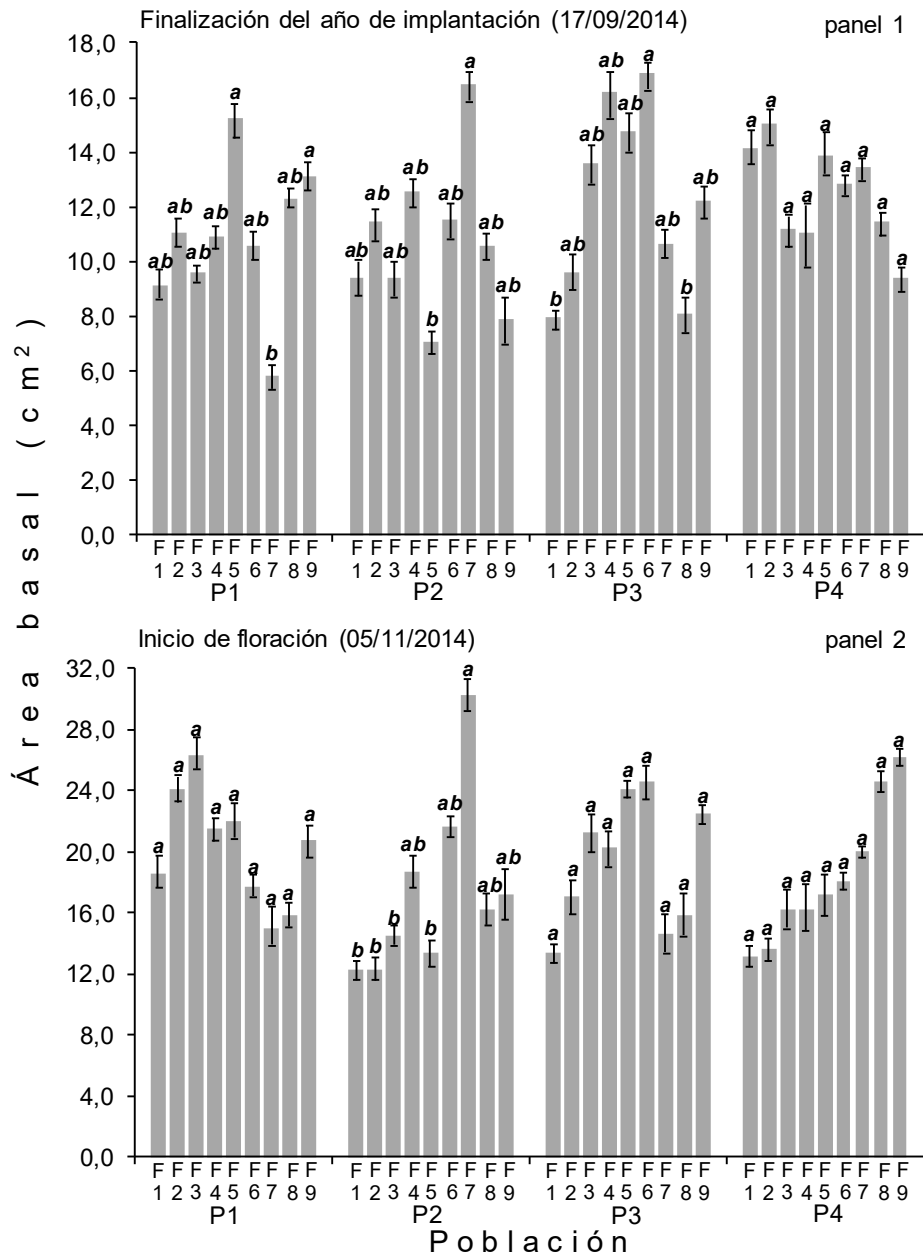


Figura 6.11. Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en el área basal (cm²) al finalizar el año de implantación (17/09/2014) y al inicio de floración (05/11/2014) en el 2do año desde la implantación (25/10/2013) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=12. Para cada panel, letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.

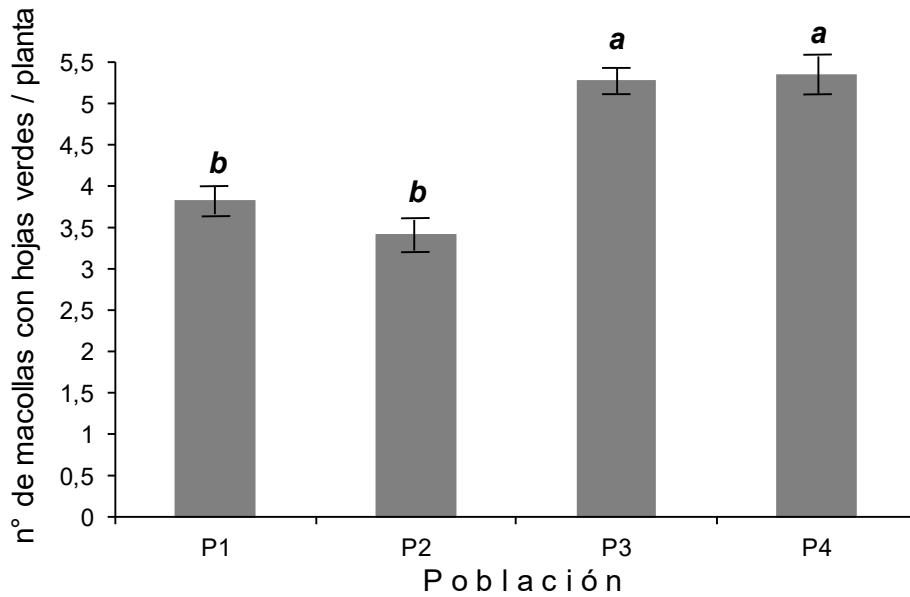


Figura 6.12. Número de macollas con hojas verdes por planta al inicio de la segunda temporada de crecimiento (17/09/2014) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=103$. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.

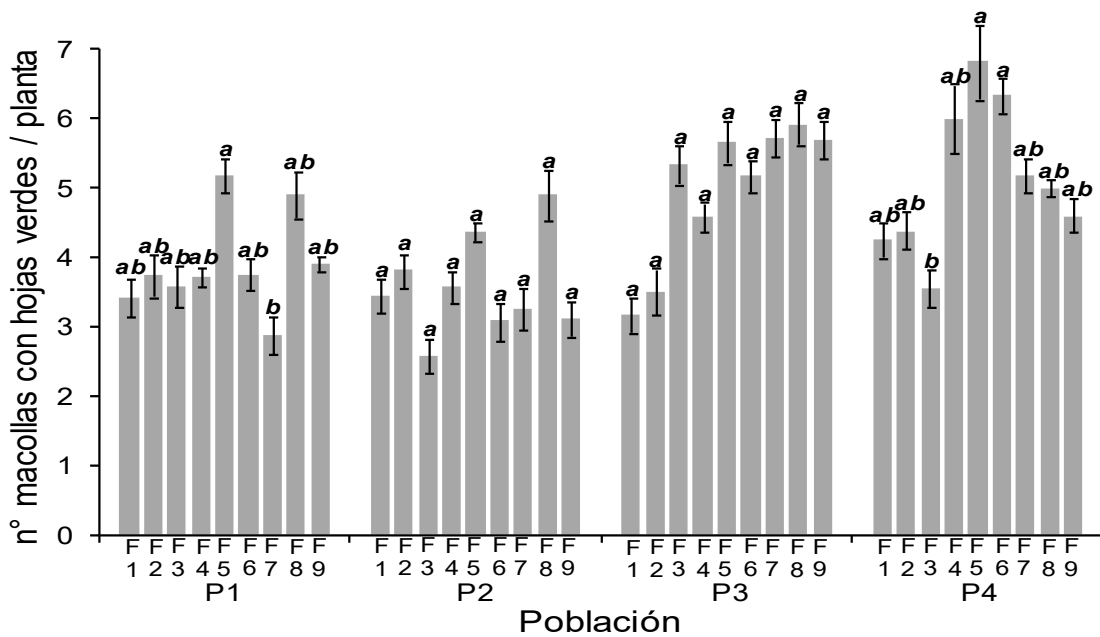


Figura 6.13. Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en el número de macollas con hojas verdes por planta al inicio de la segunda temporada de crecimiento (17/09/2014) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=12$. Letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.

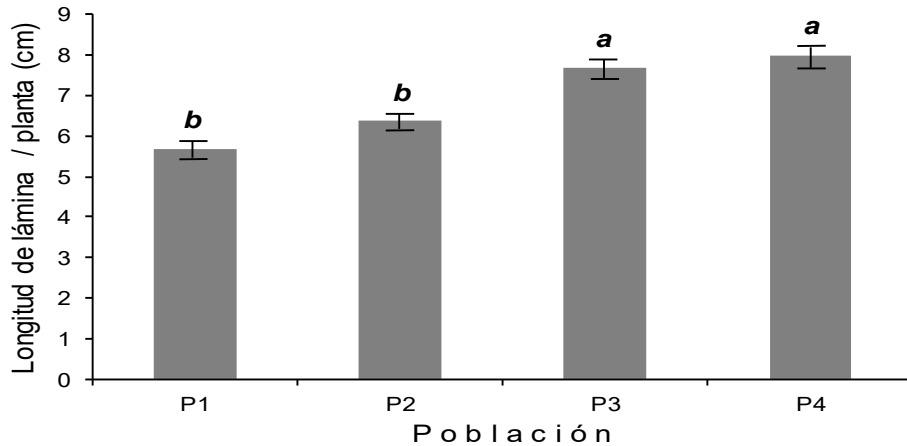


Figura 6.14. Longitud de la lámina más larga por planta (cm) al inicio de la segunda temporada de crecimiento (17/09/2014) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=103$. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.

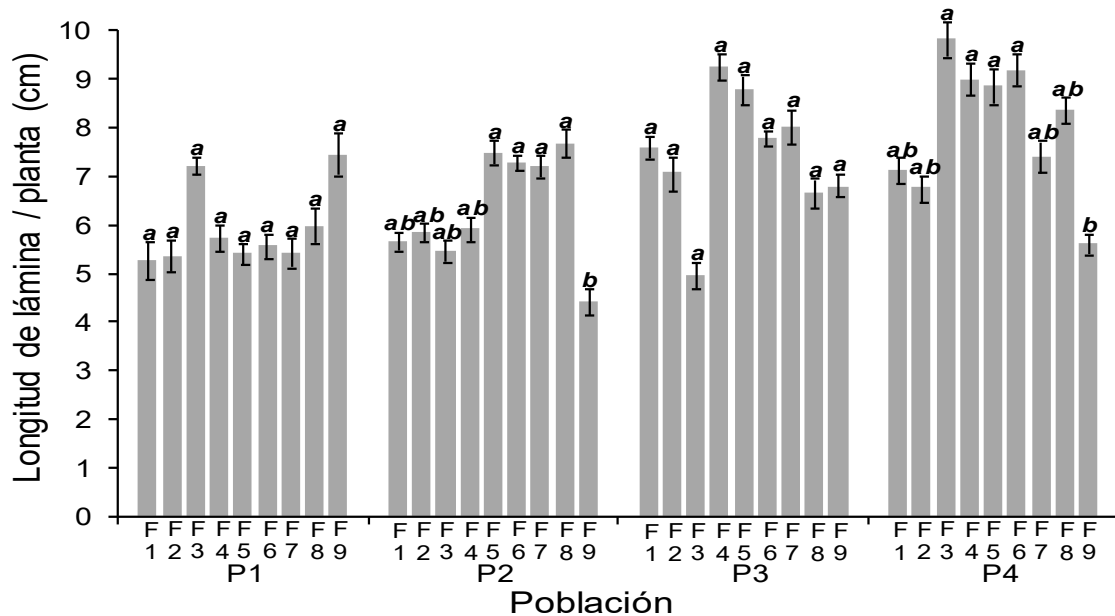


Figura 6.15. Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en la longitud de la lámina más larga por planta (cm) al inicio de la segunda temporada de crecimiento (17/09/2014) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=12$. Letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.

En la 4ta fecha de muestreo (05/11/2014), para la altura de planta, se observaron diferencias significativas dentro ($p=0,001$; P2 y P3 presentaron diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.16) y entre ($p < 0,001$) poblaciones (Fig. 6.17). Así, P1 resultó inferior ($p \leq 0,05$) al resto de las poblaciones, mientras que P3 y P4 resultaron superiores ($p \leq 0,05$) (Fig. 6.17).

En cuanto al número de macollas reproductivas Grado 1 (botón floral) por planta en dicha fecha también se observaron diferencias significativas dentro ($p=0,007$; P2 presentó diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.18) pero no entre ($p=0,063$) poblaciones (Fig. 6.19). Para el conjunto de macollas reproductivas de Grados 2 a 5 por planta, no hubo diferencias significativas dentro ($p=0,338$; datos no mostrados) pero si entre ($p<0,001$) poblaciones (Fig. 6.19). Así, P1 resultó superior ($p\leq 0,05$) al resto de las poblaciones. La población 4 fue superior ($p\leq 0,05$) a P2 y P3 (Fig. 6.19). Sin embargo, P2 y P3 no fueron significativamente diferentes (Fig. 6.19).

Finalmente, para el número de macollos reproductivos totales por planta hubo diferencias significativas dentro ($p=0,011$; P2 y P4 presentaron diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.18) pero no entre ($p=0,186$) poblaciones (Fig. 6.19).

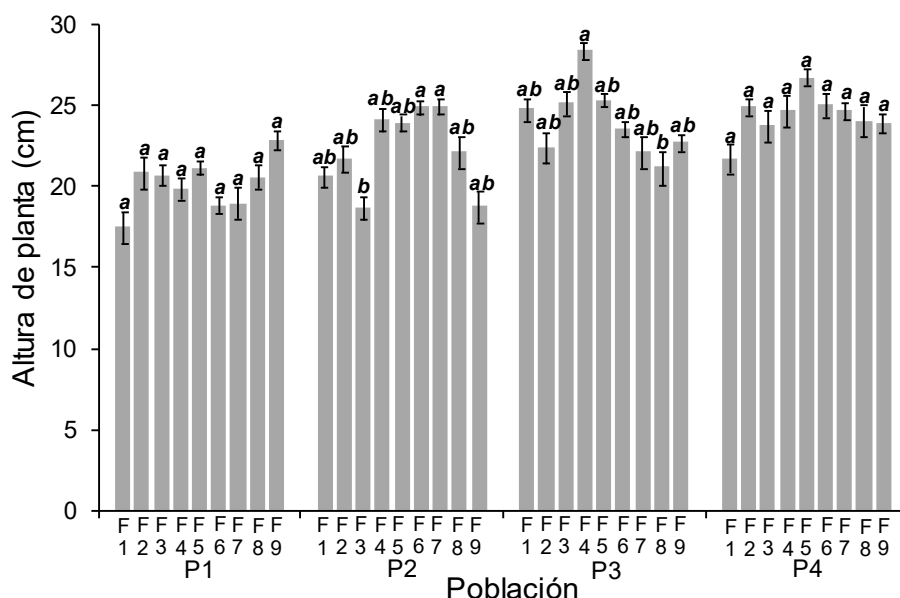


Figura 6.16. Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en la altura de planta (cm) al inicio de floración (05/11/2014) en el 2do año desde la implantación en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio ± 1 error estándar (barras verticales) de $n=12$. Letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p\leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.

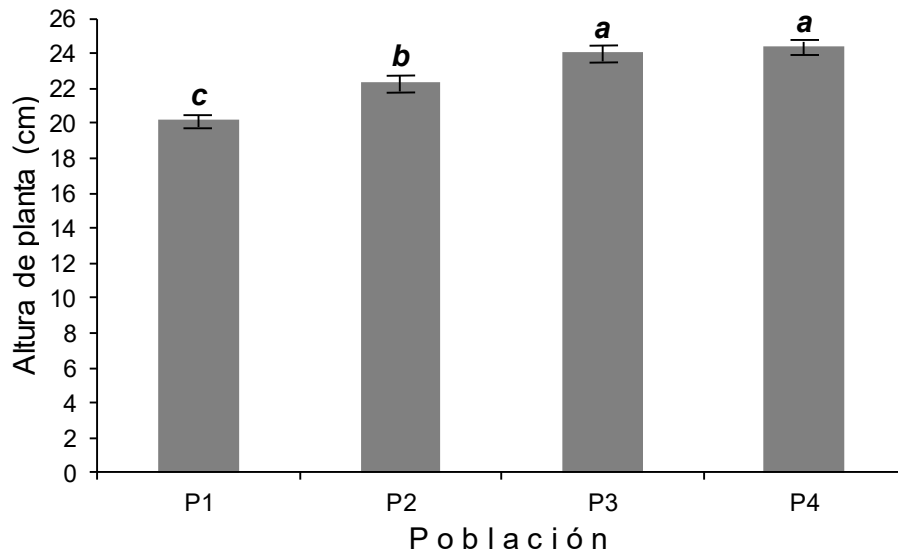


Figura 6.17. Altura de planta (cm) al inicio de floración (05/11/2014) en el 2do año desde la implantación en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=102$. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.

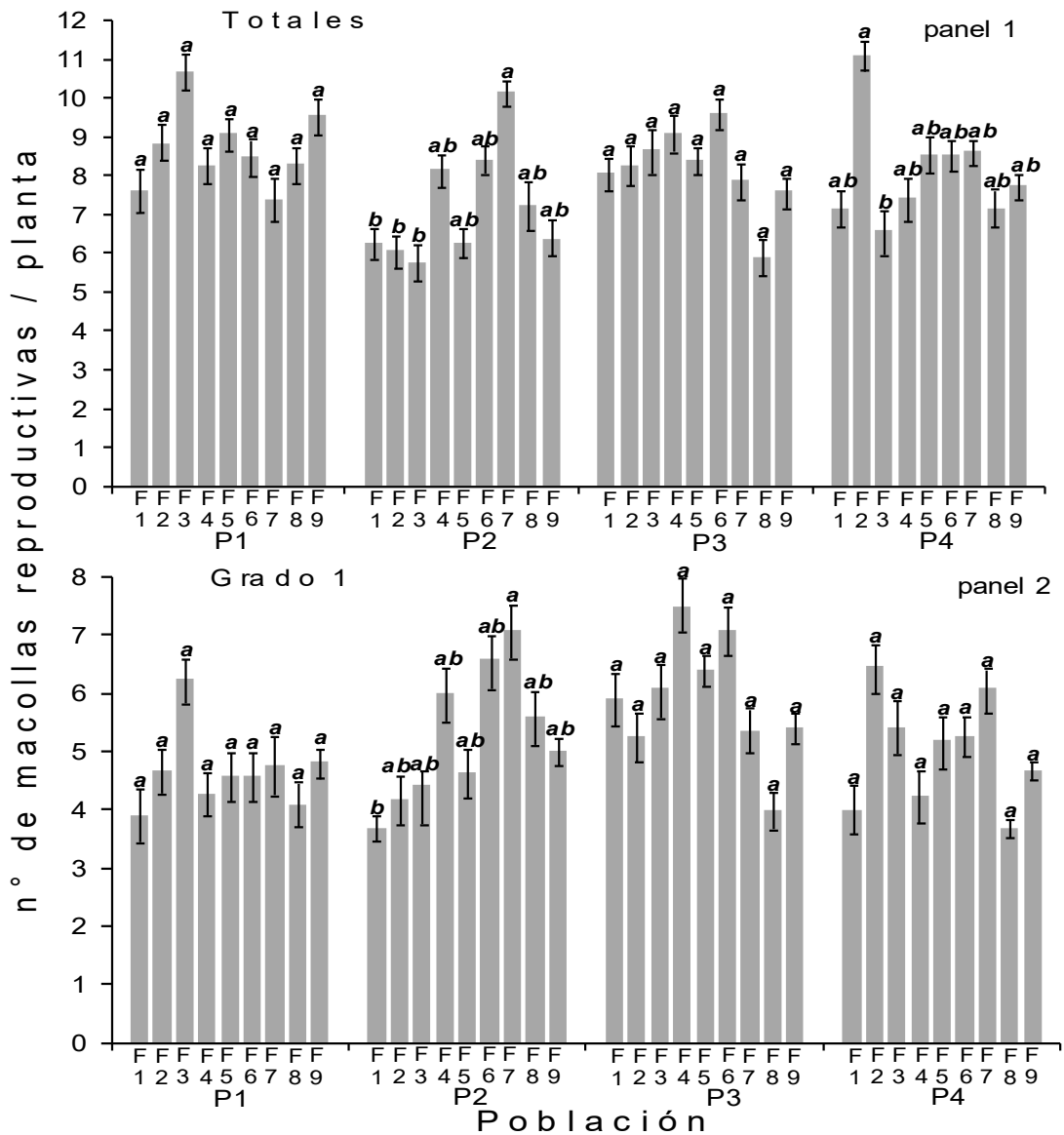


Figura 6.18. Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en el número de macollas reproductivas Totales y Grado 1 (botón floral) al inicio de floración (05/11/2014) en el 2do año desde la implantación en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=12$. Para cada panel, letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.

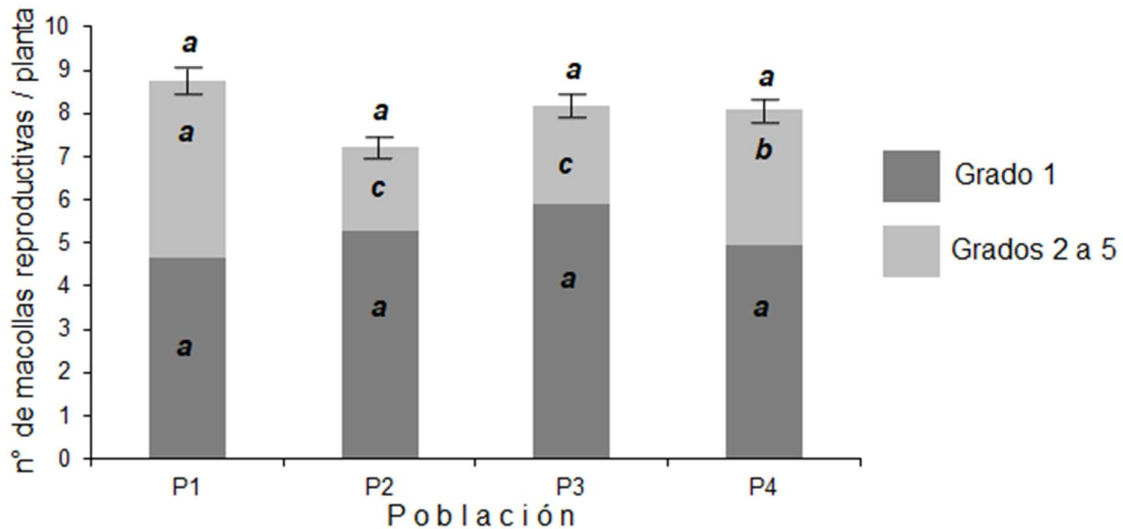


Figura 6.19. Número de macollas reproductivas (Totales; Grado 1: botón floral; y Grado 2: < 50 % de panoja emergida + Grado 3: > 50 % de panoja emergida + Grado 4: 100 % de panoja emergida inmadura + Grado 5: 100 % de panoja emergida madura) por planta al inicio de floración (05/11/2014) en el 2do año desde la implantación en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio de $n=102$ [para el Total se indica ± 1 error estándar (barras verticales)]. Letras diferentes sobre y dentro de los histogramas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.

Los resultados de los caracteres reproductivos registrados en la fecha de muestreo 5 (16/12/2014: inicio de la fructificación en el 2do año) fueron los siguientes:

(1) En cuanto al número de macollas reproductivas totales por planta, se observaron diferencias significativas dentro ($p < 0,001$; P2, P3 y P4 presentaron diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.20) pero no entre ($p = 0,287$) poblaciones (Fig. 6.21).

(2) Para longitud de panoja madura por planta, no hubo diferencias dentro ($p = 0,095$) de poblaciones (Fig. 6.20) pero si entre ($p < 0,001$) poblaciones (Fig. 6.21). Así, P1 resultó inferior ($p \leq 0,05$) al resto de las poblaciones que no presentaron diferencias ($p > 0,05$) entre ellas (Fig. 6.21).

(3) Para el número de antecios por panoja por planta se observaron diferencias significativas dentro ($p < 0,001$; las 4 poblaciones presentaron diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.20) y entre ($p < 0,001$) poblaciones (Fig. 6.21). Así, P3 y P4 resultaron similares ($p > 0,05$) entre ellas y superiores ($p \leq 0,05$) a P1 y P2; al mismo tiempo, P2 fue superior ($p \leq 0,05$) a P1 (Fig. 6.21).

(4) Finalmente, para el número de antecios por planta se observaron diferencias significativas dentro ($p < 0,001$; P2 presentó diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.20) pero no entre ($p = 0,295$) poblaciones (Fig. 6.21).

(5) Por otra parte, para el carácter número de macollas vegetativas por planta no se observaron diferencias significativas dentro ($p = 0,341$) de poblaciones (Fig. 6.22) pero si entre ($p < 0,001$) poblaciones (Fig. 6.23). Así, P4 resultó superior ($p \leq 0,05$) a P1 y P2; P3 y P1 no tuvieron diferencias entre ellas, pero P3 fue superior ($p \leq 0,05$) a P2 (Fig. 6.23).

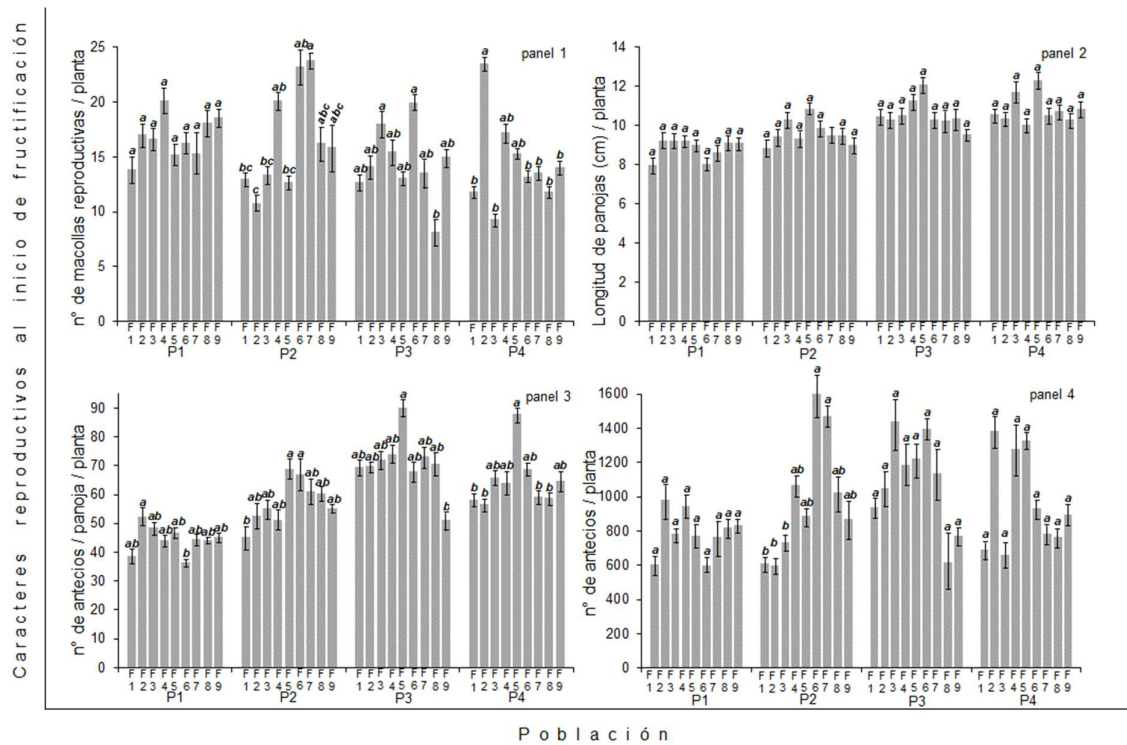


Figura 6.20. Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en caracteres reproductivos registrados al inicio de fructificación (16/12/2014) en el 2do año en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio ± 1 error estándar (barras verticales) de $n=12$. Para cada panel, letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey. Note las diferentes escalas entre paneles.

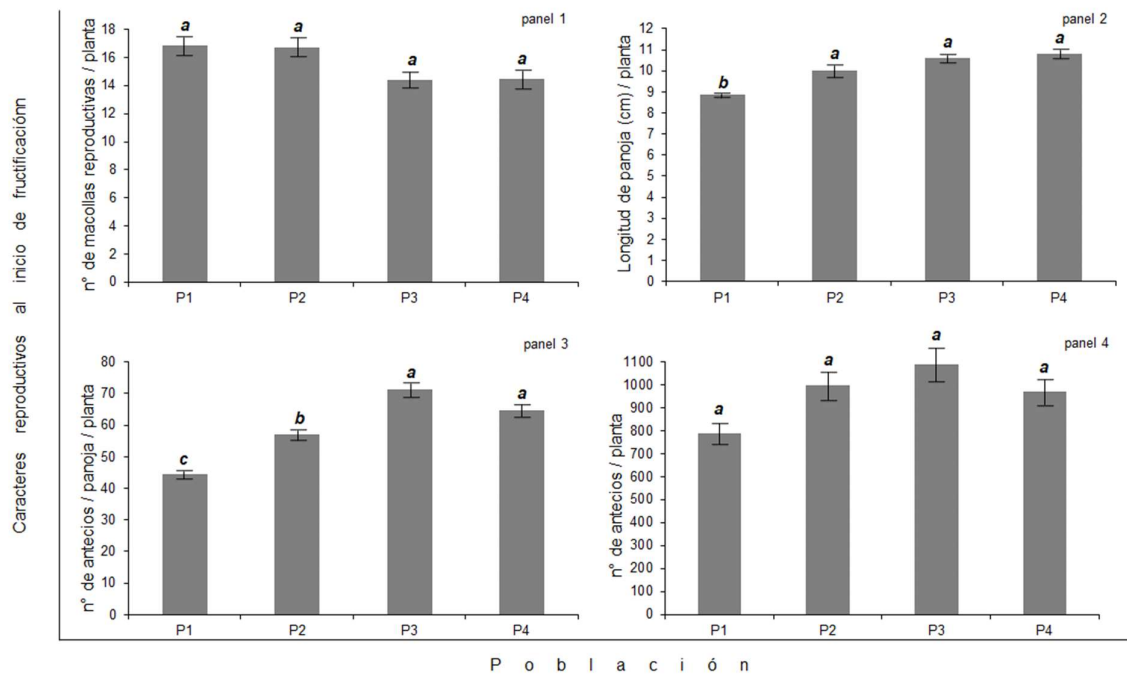


Figura 6.21. Caracteres reproductivos registrados al inicio de fructificación (16/12/2014) en el 2do año en plantas de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=102$. Letras diferentes dentro de cada variable indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey. Note las diferentes escalas entre paneles.

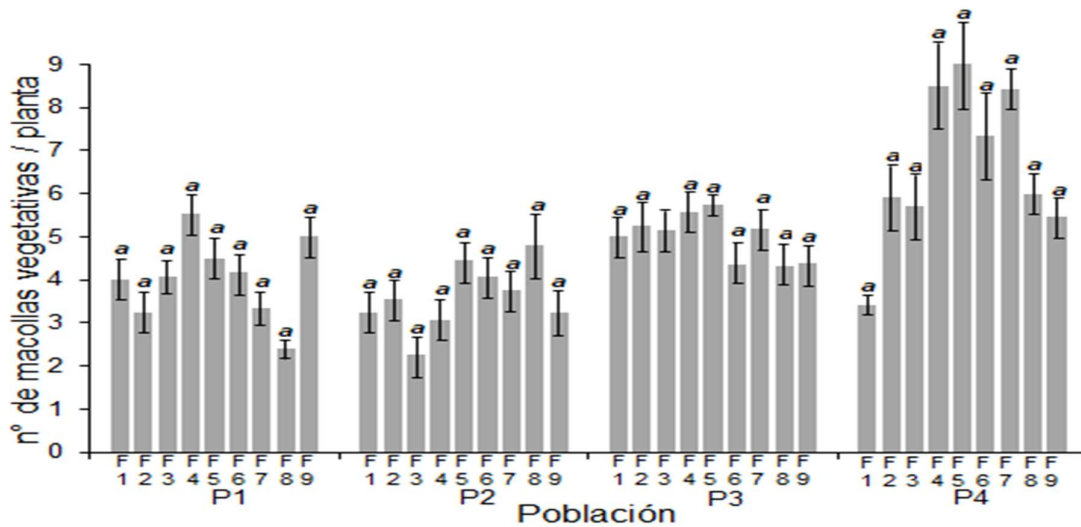


Figura 6.22. Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en el número de macollas vegetativas registrados al inicio de fructificación (16/12/2014) en el 2do año en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=12$. Letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.

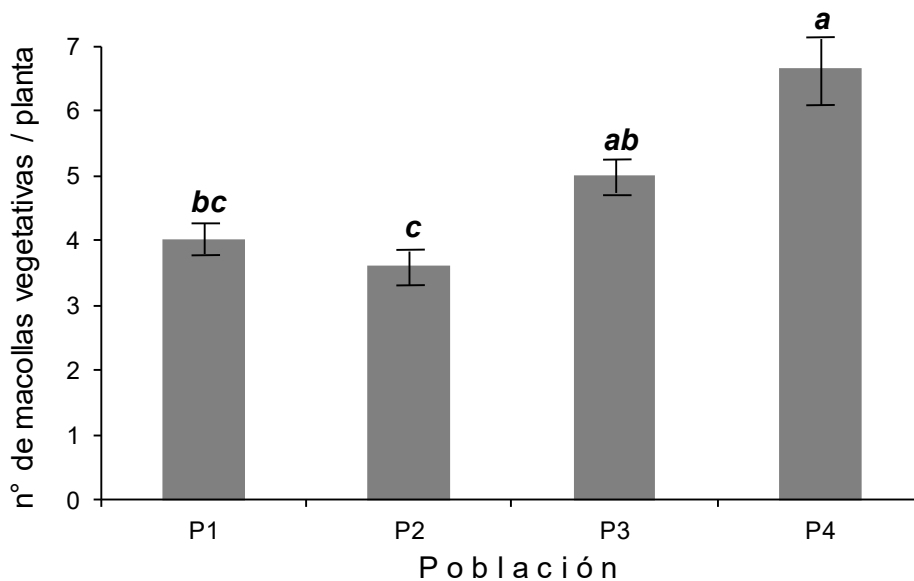


Figura 6.23. Número de macollas vegetativas por planta registradas al inicio de fructificación (16/12/2014) en el 2do año en cuatro (P1, P2, P3, P4) poblaciones de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=102$. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.

Los resultados de la producción de biomasa aérea (g MS/planta) para cada uno de los cuatro cortes (C1, C2, C3 y C4) y para el total acumulado durante la primera temporada de aprovechamiento luego de la implantación fueron los siguientes:

(1) Para C1 (25/05/2015) se observaron diferencias significativas dentro ($p < 0,001$; P1 y P2 presentaron diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.24) y entre ($p = 0,002$) poblaciones (Fig. 6.25). Así, P3 resultó superior con diferencias significativas ($p \leq 0,05$) sólo con P1 y P2. A su vez P4 no se diferenció ($p > 0,05$) de P2 y P3; y P1 resultó inferior ($p \leq 0,05$) al resto de las poblaciones (Fig. 6.25).

(2) Para C2 (26/11/2015) hubo diferencias significativas dentro ($p < 0,001$; P1 y P2 presentaron diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.24) pero no entre ($p = 0,687$) poblaciones (Fig. 6.25).

(3) Para C3 (29/02/2016) se observaron diferencias significativas dentro ($p < 0,001$; P1, P2 y P4 presentaron diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.24) pero no entre ($p = 0,293$) poblaciones (Fig. 6.25).

(4) Para C4 (06/06/16) también se observaron diferencias significativas tanto dentro ($p < 0,001$; P1, P2 y P4 presentaron diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.24) como entre ($p = 0,027$) poblaciones (Fig. 6.25). Así, P2 y P3 fueron superiores ($p \leq 0,05$) al resto de las poblaciones y similares ($p > 0,05$) entre si. Por su parte, P1 y P4 no tuvieron diferencias ($p > 0,05$) entre ellas (Fig. 6.25).

(5) Finalmente, para el Total acumulado se observaron diferencias significativas dentro ($p < 0,001$; P1 y P2 presentaron diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.24) pero no entre ($p = 0,195$) poblaciones (Fig. 6.25).

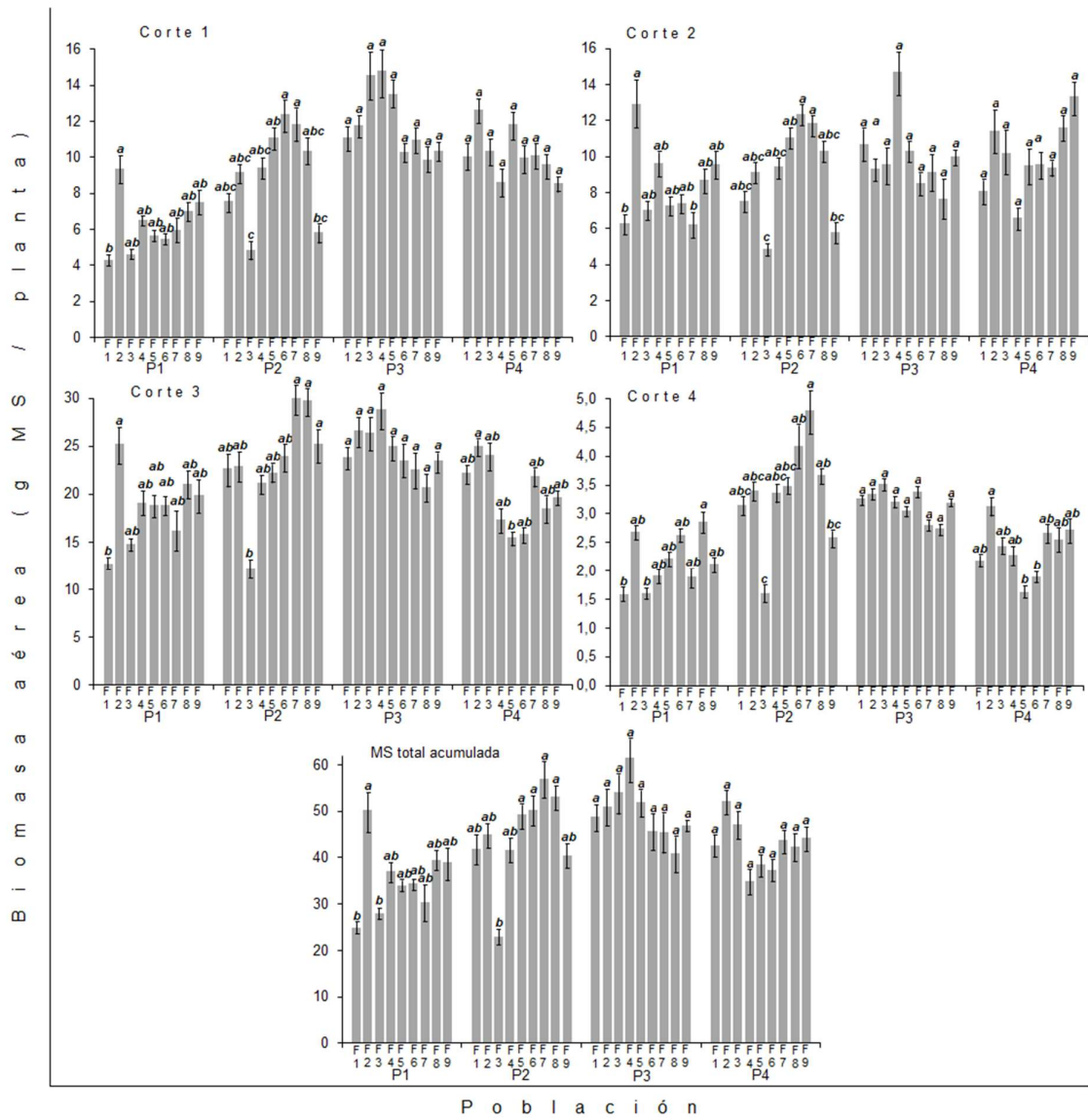


Figura 6.24. Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en la producción de biomasa aérea (g MS/planta) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum* durante el primer periodo de aprovechamiento (4 cortes: Corte1 25/05/15; Corte 2 26/11/15; Corte 3 29/02/16 y Corte 4 06/06/16) después de la implantación (25/10/2013). Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=12. Para cada corte y para MS total acumulada, letras diferentes dentro de cada población indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey.

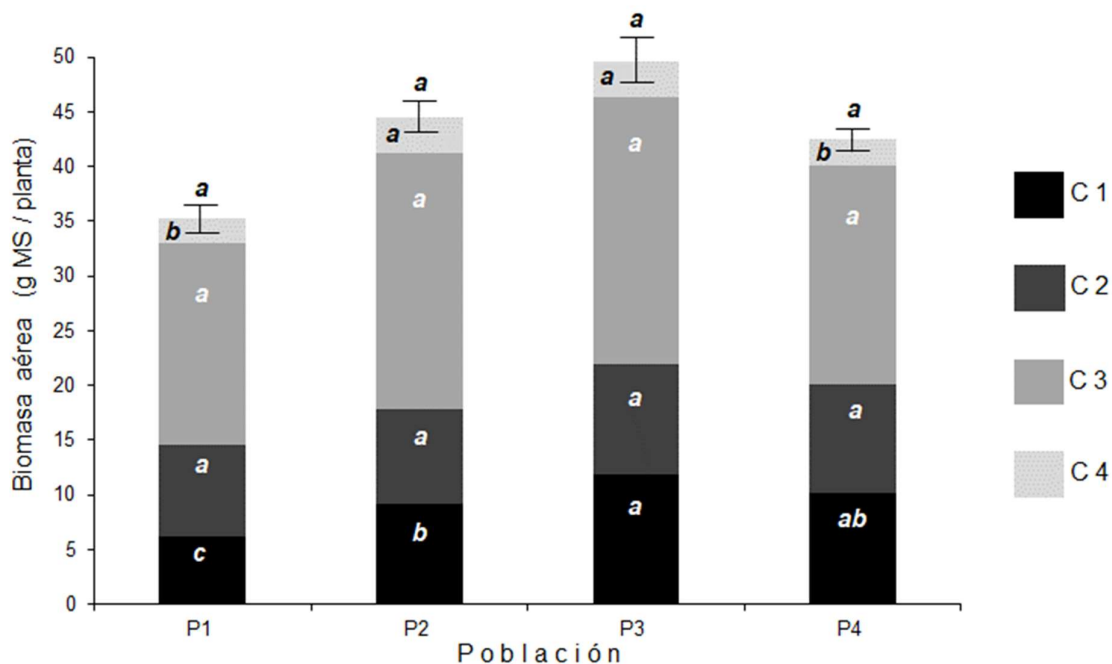


Figura 6.25. Producción de biomasa aérea (g MS/planta) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum* durante el primer periodo de aprovechamiento [4 cortes: C1 25/05/15; C2 26/11/15; C3 29/02/16 y C4 06/06/16 (en cada corte se cortaron todas las plantas en cada parcela)] después de la implantación (25/10/2013). Cada histograma es el promedio de n=108 [para MS total acumulada se indica ± 1 error estándar (barras verticales)]. Letras diferentes sobre los histogramas y dentro de cada sector de los mismos indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.

La interacción Población x Fecha de corte resultó significativa ($p \leq 0,05$) para los parámetros de calidad. Así, dichos parámetros variaron según el momento de corte (C1, C2, C3, C4) y las poblaciones (P1, P2, P3, P4) entre los siguientes valores (Figs. 6.26 y 6.26 cont.):

- Ceniza bruta (%): entre 7,24 % (C2, P1) y 15,46 % (C1, P1).
- Proteína bruta (%): entre 7,35 % (C3, P4) y 13,5 % (C2, P2).
- Fibra bruta (%): entre 28,59 % (C2, P2) y 36,61 % (C3, P4).
- Grasa bruta (%): 1,65 % (C1, P1) y 2,35 % (C2, P2).
- Extracto no nitrogenado (%): entre 36,54 (C1, P1) y 46,16 % (C4, P1).
- Total nutrientes digestibles (%): entre 45,7 % (C2, P3) y 52,85 (C4, P1).
- Energía metabolizable (Mcal/kg): entre 1,64 Mcal/kg (C2, P3) y 1,9 Mcal/kg (C4, P1)

Proteína bruta (PB):

El mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de PB en la P1 se presentó en el C2, y el menor ($p \leq 0,05$) en los C3 y C4. En la P2, el C2 mostró el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de PB, y C3 y C4 tuvieron los menores ($p \leq 0,05$) porcentajes. La P3 tuvo el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de PB en el C2, y el menor ($p \leq 0,05$) en el C4. Finalmente, los mayores ($p \leq 0,05$) porcentajes de PB en la P4 se mostraron en los C1 y C2, y el menor ($p \leq 0,05$) en el C3 (Fig. 6.26).

Los mayores ($p \leq 0,05$) porcentajes de PB en el C1 se presentaron en la P2 y P4 [P3 resultó similar ($p > 0,05$) a P2], y el menor ($p \leq 0,05$) en la P1. En el C2, la P2 mostró el

mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de PB, y P4 tuvo el menor ($p \leq 0,05$) porcentaje. Para C3, P2 tuvo el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de PB, y P4 el menor ($p \leq 0,05$). Finalmente, el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de PB en el C4 se mostró en la P2, y el menor en las P1 y P3 (Fig. 6.26).

Fibra bruta (FB):

Los mayores ($p \leq 0,05$) porcentajes de FB en la P1 se presentaron en los C1 y C3, y los menores ($p \leq 0,05$) en los C2 y C4. En la P2, los C1, C3 y C4 mostraron los mayores ($p \leq 0,05$) porcentajes de FB, y C2 tuvo el menor ($p \leq 0,05$) porcentaje. La P3 tuvo valores similares ($p > 0,05$) de FB en todos los cortes. Finalmente, el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de FB en la P4 se mostró en C3, y los menores ($p \leq 0,05$) en C1 y C4 (Fig. 6.26).

En el C1 todas las poblaciones presentaron valores de FB similares ($p > 0,05$). En el C2, la P3 y P4 mostraron los mayores ($p \leq 0,05$) porcentajes de FB, y P2 tuvo el menor ($p \leq 0,05$) porcentaje. Para C3, P1, P3 y P4 tuvieron los mayores ($p \leq 0,05$) porcentajes de FB, y P2 el menor ($p \leq 0,05$) porcentaje. Finalmente, los mayores ($p \leq 0,05$) porcentajes de FB en el C4 se mostraron en la P2, P3 y P4 y el menor en la P1 (Fig. 6.26).

Grasa bruta (GB):

El mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de GB en la P1 se presentó en el C4 y el menor ($p \leq 0,05$) en el C1. P2 y P3 no tuvieron diferencias ($p > 0,05$) entre los cortes. Finalmente, el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de GB en la P4 se mostró en el C4, y los menores ($p \leq 0,05$) en el C2 y C3 [aunque C3 no presentó diferencias ($p > 0,05$) con el C1] (Fig. 6.26).

En el C1 la P2 mostró el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de GB [aunque sin diferencias ($p > 0,05$) con P3 y P4]. El menor ($p \leq 0,05$) porcentaje para este parámetro se observó en la P1 [aunque sin diferencias ($p > 0,05$) con P3 y P4]. En el C2, la P2 mostró el mayor ($p \leq 0,05$) porcentajes de GB, y P4 tuvo el menor ($p \leq 0,05$) porcentaje. Para el C3, P2 tuvo el mayor ($p \leq 0,05$) porcentajes de GB [aunque sin diferencias ($p > 0,05$) con P1], y P3 y P4 el menor ($p \leq 0,05$) porcentaje [aunque sin diferencias ($p > 0,05$) con P1]. Finalmente, los mayores ($p \leq 0,05$) porcentajes de GB en el C4 se mostraron en la P1 y P4 [aunque sin diferencias ($p > 0,05$) con P2] y el menor en la P3 [aunque sin diferencias ($p > 0,05$) con P2] (Fig. 6.26).

Extracto no nitrogenado (ENN):

El mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de ENN en la P1 se presentó en el C4, y el menor ($p \leq 0,05$) en el C1. En la P2, los C3 y C4 mostraron los mayores ($p \leq 0,05$) porcentajes de ENN [aunque C4 no se diferenció ($p > 0,05$) de C1] y C2 tuvo el menor ($p \leq 0,05$). La P3 tuvo el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de ENN en el C4 y los menores en los C1 y C2 [aunque C1 no se diferenció ($p > 0,05$) de C3]. Finalmente, los mayores ($p \leq 0,05$) porcentajes de ENN en la P4 se presentaron en los C3 y C4, y los menores ($p \leq 0,05$) en los C1 y C2 (Fig. 6.26).

Los mayores ($p \leq 0,05$) porcentajes de ENN en el C1 se presentaron en la P2 y P3, y los menores ($p \leq 0,05$) en la P1 y P4. En el C2, la P1 mostró el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de ENN [aunque no se diferenció ($p > 0,05$) de P2 y P3], y P4 tuvo el menor ($p \leq 0,05$) porcentaje [aunque no se diferenció ($p > 0,05$) de P2 y P3]. Para C3, todas las poblaciones presentaron valores similares ($p > 0,05$) de ENN. Finalmente, el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de ENN en el C4 se mostró en la P1, y el menor en la P2 (Fig. 6.26).

Total nutrientes digestibles (TND):

La P1 mostró el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de TND en el C4 y el menor ($p \leq 0,05$) en el C1 [aunque sin diferencias ($p > 0,05$) con el C3]. La P2 tuvo valores similares ($p > 0,05$) de TND en todos los cortes. La P3 tuvo el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de TND en los C1 y C4 [aunque C1 no se diferenció ($p > 0,05$) del C3], y el menor ($p \leq 0,05$) en el C2 [aunque no se diferenció ($p > 0,05$) del C3]. Finalmente, el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de TND en la P4 se mostró en el C4, y los menores ($p \leq 0,05$) en los C1, C2 y C3 (Fig. 6.26 cont.).

El mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de TND en el C1 se presentó en la P2 y P3 [aunque P3 no se diferenció ($p > 0,05$) de P4], y el menor ($p \leq 0,05$) en la P1 [aunque no se diferenció ($p > 0,05$) de P4]. En el C2, las P1 y P2 mostraron los mayores ($p \leq 0,05$) porcentajes de TND, y P3 y P4 tuvieron los menores ($p \leq 0,05$) porcentajes. Para C3, P2 tuvo el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de TND, y P1, P3 y P4 los menores ($p \leq 0,05$). Finalmente, el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de PB en el C4 se mostró en la P1, y los menores en las P2, P3 y P4 (Fig. 6.26 cont.).

Ceniza bruta (CB):

El mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de CB en la P1 se presentó en el C1, y el menor ($p \leq 0,05$) en el C2. En la P2, el C4 mostró el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de CB, y C2 y C3 tuvieron los menores ($p \leq 0,05$) porcentajes. La P3 tuvo el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de CB en los C1 y C4, y el menor ($p \leq 0,05$) en el C2. Finalmente, el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de CB en la P4 se mostró en el C1, y el menor ($p \leq 0,05$) en el C2 (Fig. 6.26 cont.).

El mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de CB en el C1 se presentó en el P1, y los menores ($p \leq 0,05$) en las P2, P3 y P4. En el C2, la P2 mostró el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de CB, y P1, P3 y P4 tuvieron los menores ($p \leq 0,05$) porcentajes. Para el C3, P2 tuvo el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de CB, y P3 el menor ($p \leq 0,05$). Finalmente, el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de PB en el C4 se mostró en la P2, y los menores en las P1, P3 y P4 (Fig. 6.26 cont.).

Energía metabolizable (EM):

El mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de EM en la P1 se presentó en el C4, y el menor ($p \leq 0,05$) en el C1 [aunque sin diferencias ($p > 0,05$) en el C3]. La P2 tuvo valores similares ($p > 0,05$) de TND en todos los cortes. La P3 tuvo el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de EM en los C1 y C4 [aunque el C1 no se diferenció ($p > 0,05$) del C3], y el menor ($p \leq 0,05$) en el C2 [aunque sin diferencias ($p > 0,05$) con el C3]. Finalmente, el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de EM en la P4 se mostró en el C4, y el menor ($p \leq 0,05$) en los C1, C2 y C3 (Fig. 6.26 cont.).

El mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de EM en el C1 se presentó en la P2 y P3 [aunque P3 no se diferenció ($p > 0,05$) de P4], y el menor ($p \leq 0,05$) en la P1 [aunque no se diferenció ($p > 0,05$) de P4]. En el C2, las P1 y P2 mostraron los mayores ($p \leq 0,05$) porcentajes de TND, y P3 y P4 tuvieron los menores ($p \leq 0,05$) porcentajes. Para C3, P2 tuvo el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de TND, y P1, P3 y P4 los menores ($p \leq 0,05$). Finalmente, el mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de PB en el C4 se mostró en la P1, y los menores en las P2, P3 y P4 (Fig. 6.26 cont.).

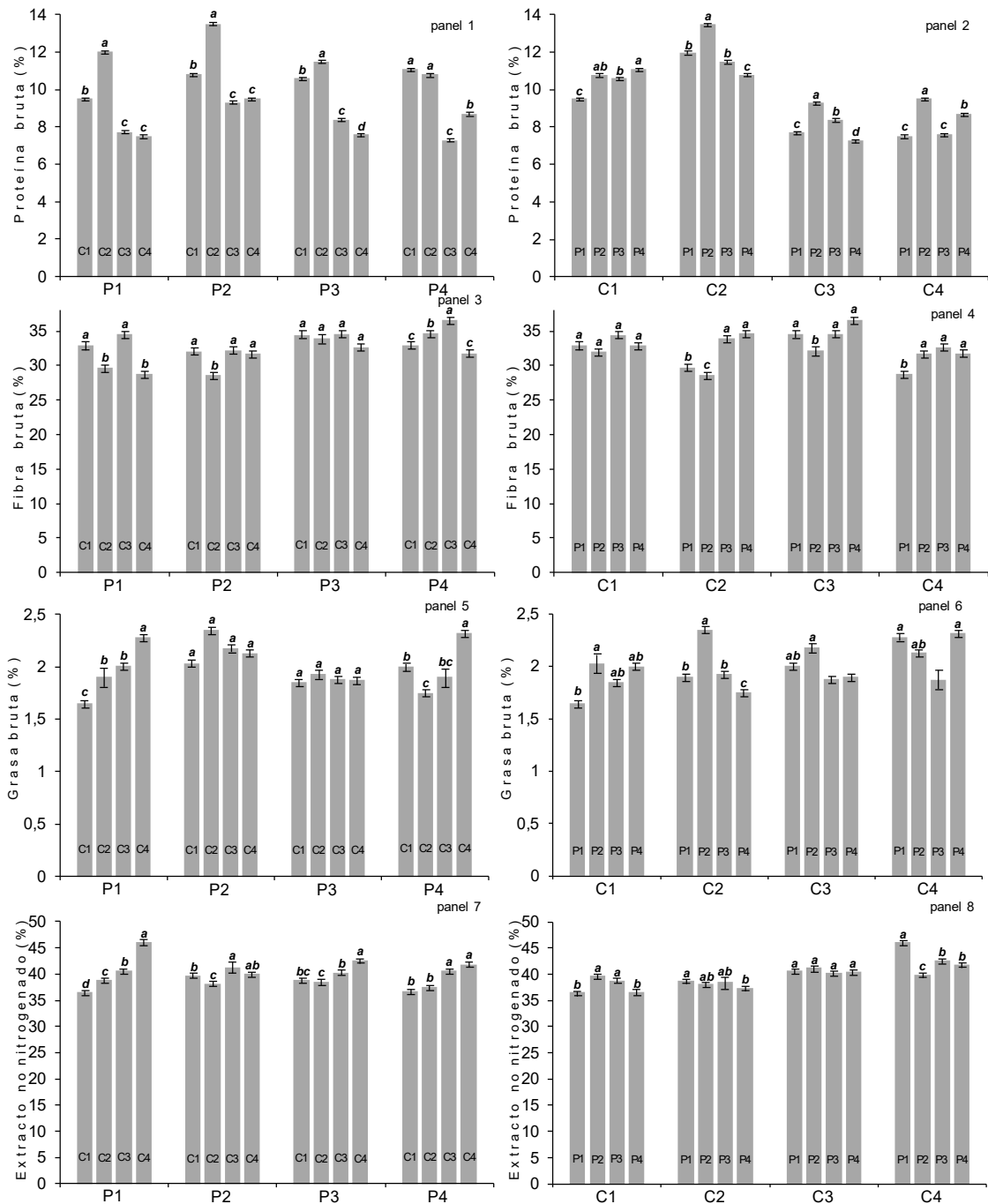


Figura 6.26. Parámetros de calidad de la biomasa seca aérea de plantas de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum* en cuatro fechas de corte (C1: 25/05/15; C2: 26/11/15; C3: 29/02/16; C4: 06/06/16) desde la implantación (25/10/2013). Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=3$. Letras diferentes dentro de cada panel indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Prueba de Tukey. Note las diferentes escalas entre paneles.

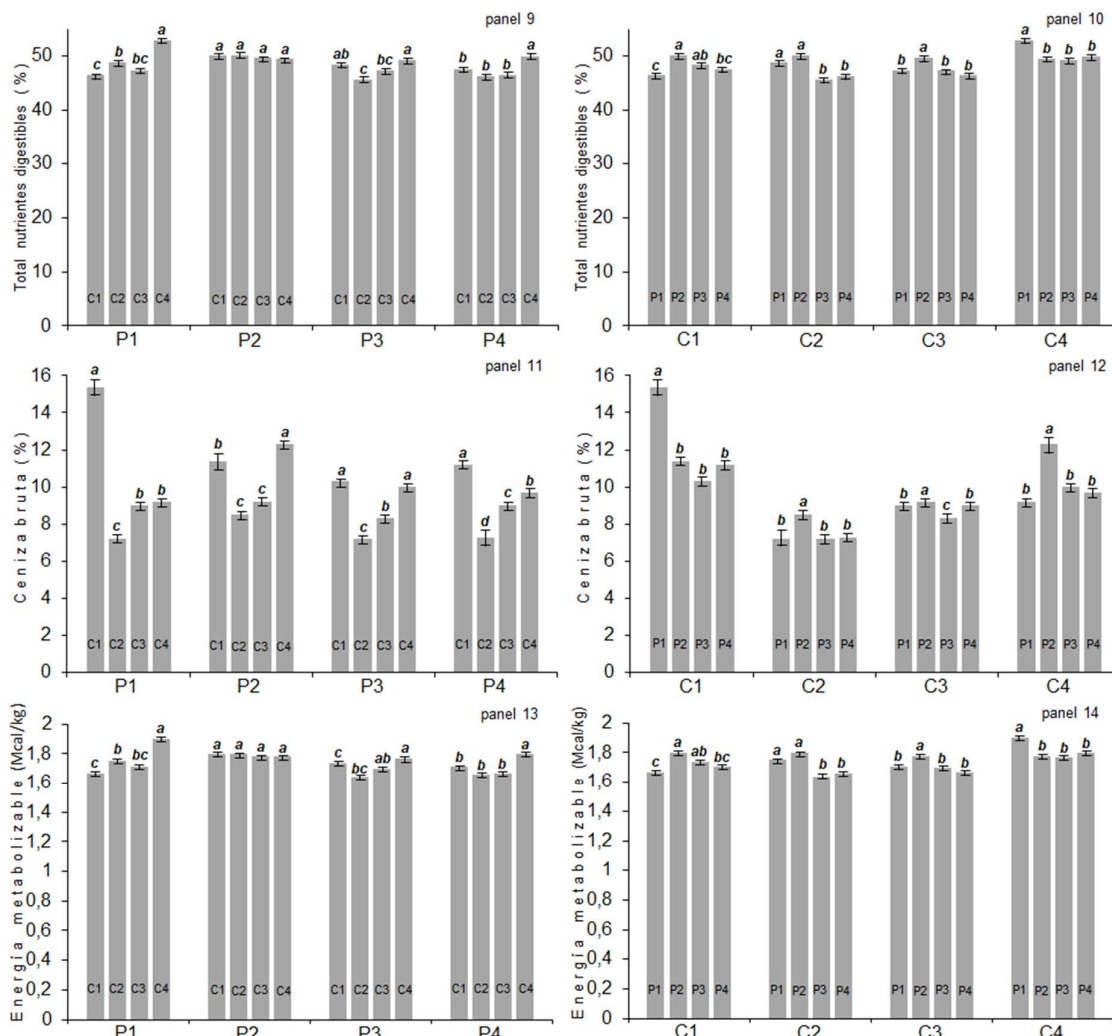


Figura 6.26 (cont.). Parámetros de calidad de la biomasa seca aérea de plantas de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum* en cuatro fechas de corte (C1: 25/05/15; C2: 26/11/15; C3: 29/02/16; C4: 06/06/16) desde la implantación (25/10/2013). Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=3$. Letras diferentes dentro de cada panel indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Prueba de Tukey. Note las diferentes escalas entre paneles.

Los resultados de los caracteres reproductivos registrados el 05/01/2016 [fecha de muestreo (8); pleno período de fructificación en el 3er año] fueron los siguientes:

(1) número de macollas reproductivas totales por planta: se observaron diferencias significativas dentro ($p=0,002$; P2 presentó diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.27) y entre ($p=0,05$) poblaciones (Fig. 6.28). Así, P4 resultó inferior ($p \leq 0,05$) al resto de las poblaciones que no presentaron diferencias ($p > 0,05$) entre si (Fig. 6.28). También para el número de macollas reproductivas de Grado 5 por planta se observaron diferencias significativas dentro ($p=0,005$; P3 y P4 presentaron diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.27) y entre ($p=0,007$) poblaciones (Fig. 6.28). Así, P1 y P2 resultaron similares ($p > 0,05$) entre si y superiores ($p \leq 0,05$) a P3 y P4 (Fig. 6.28). Por su parte, P3 y P4 no tuvieron diferencias ($p > 0,05$) entre si (Fig. 6.28). Del mismo modo, para el número macollas reproductivas de Grado 4 por planta, también se observaron diferencias significativas dentro ($p < 0,001$; todas las poblaciones presentaron diferencias

intrapoblacionales; Fig. 6.27) y entre ($p < 0,001$) poblaciones (Fig. 6.28). Así, P3 resultó superior ($p \leq 0,05$) al resto de las poblaciones; P1 se ubicó en segundo lugar, y tanto P2 como P4 resultaron inferiores ($p \leq 0,05$) al resto de las poblaciones y no presentaron diferencias ($p > 0,05$) entre si (Fig. 6.28).

(2) longitud de panoja por planta: se observaron diferencias significativas dentro ($p < 0,001$; P1 y P4 presentaron diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.27 cont.) y entre ($p < 0,001$) poblaciones (Fig. 6.28). Así, P3 resultó superior ($p \leq 0,05$) y P1 inferior ($p \leq 0,05$) al resto de las poblaciones. Por su parte, P2 y P4 no tuvieron diferencias ($p > 0,05$) entre ellas (Fig. 6.28).

(3) número de antecios por panoja por planta: se observaron diferencias significativas dentro ($p < 0,001$; P2, P3 y P4 presentaron diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.27 cont.) y entre ($p < 0,001$) poblaciones (Fig. 6.28). También para este carácter, P3 resultó superior ($p \leq 0,05$) y P1 inferior ($p \leq 0,05$) al resto de las poblaciones, mientras P2 y P4 no tuvieron diferencias ($p > 0,05$) entre ellas (Fig. 6.28).

(4) número de antecios por planta: se observaron diferencias significativas dentro ($p < 0,001$; P2 y P4 presentaron diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.27 cont.) pero no entre ($p = 0,075$) poblaciones (Fig. 6.28).

Finalmente, (5) número de antecios germinables por planta: se observaron diferencias significativas dentro ($p < 0,001$; P2 y P4 presentaron diferencias intrapoblacionales; Fig. 6.27 cont.) pero no entre ($p = 0,56$) poblaciones (Fig. 6.28).

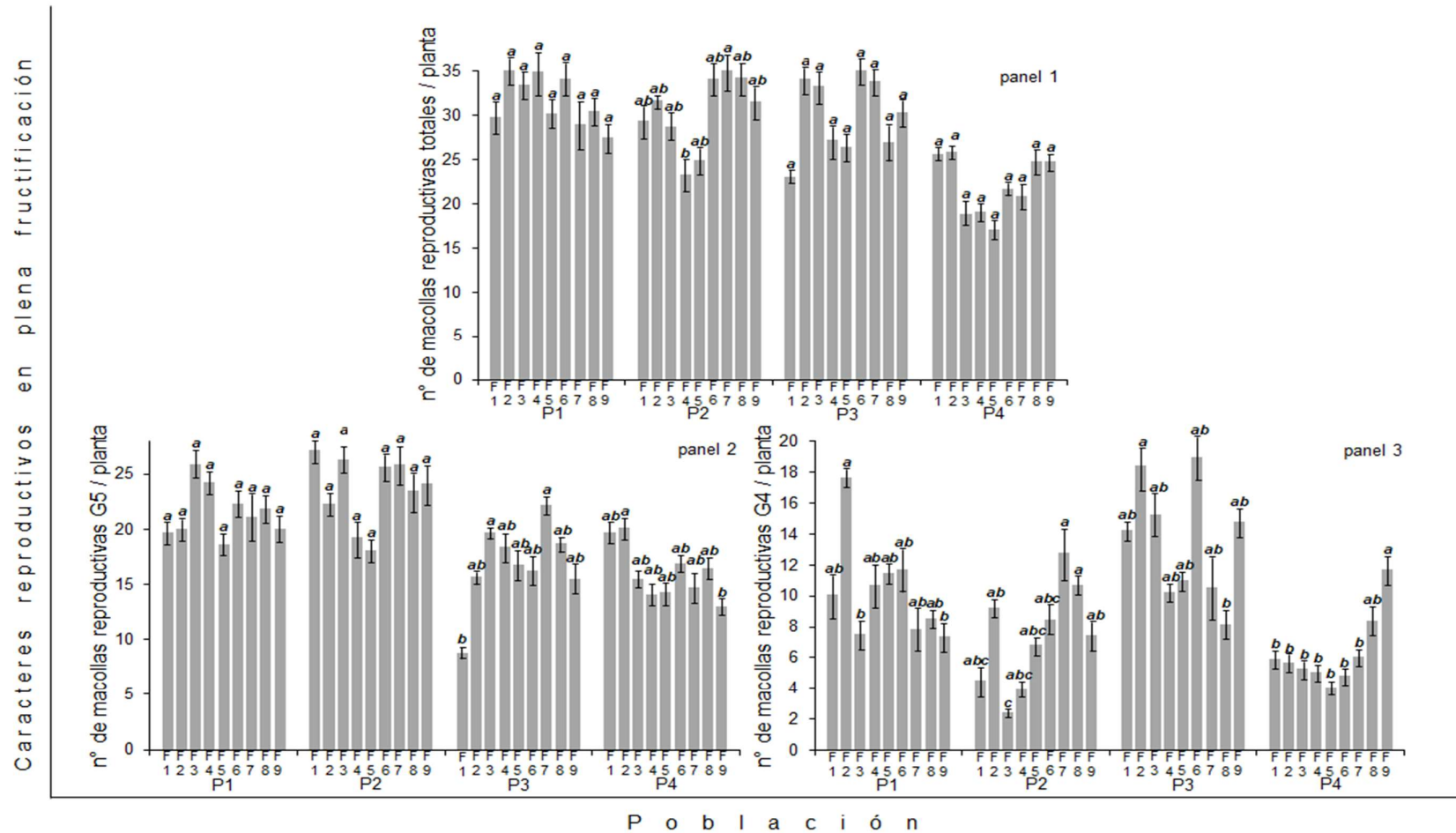


Figura 6.27. Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en caracteres reproductivos registrados en plena fructificación (05/01/2016) en el 3er año en plantas de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=12$. Letras diferentes dentro de cada variable indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey. Note las diferentes escalas entre paneles.

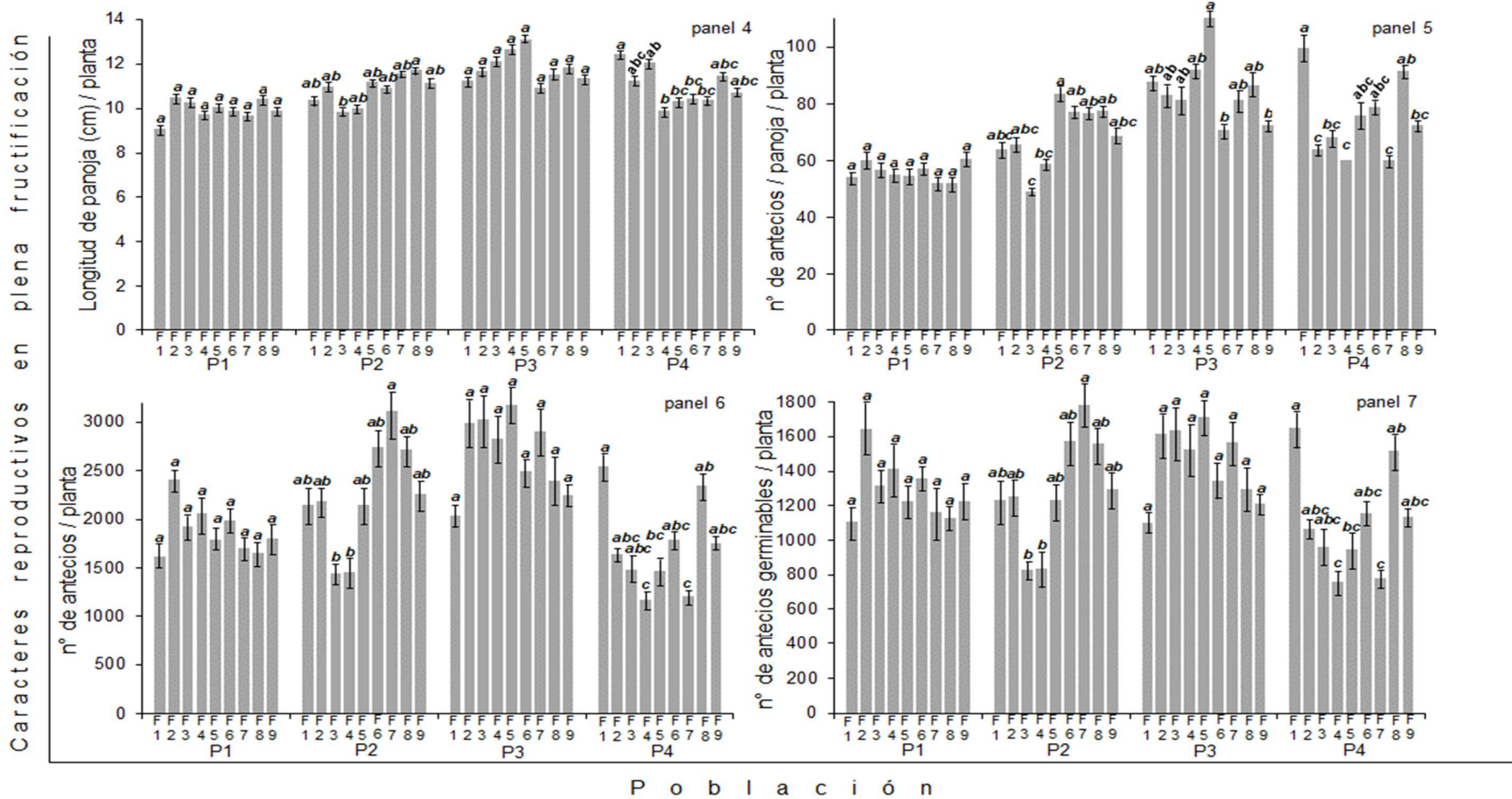


Figura 6.27 (cont.). Variabilidad intergenotípica dentro de cada población en caracteres reproductivos registrados en plena fructificación (05/01/2016) en el 3er año en plantas de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=12$. Letras diferentes dentro de cada variable indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre filas (F) dentro de cada parcela. Prueba de Tukey. Note las diferentes escalas entre paneles.

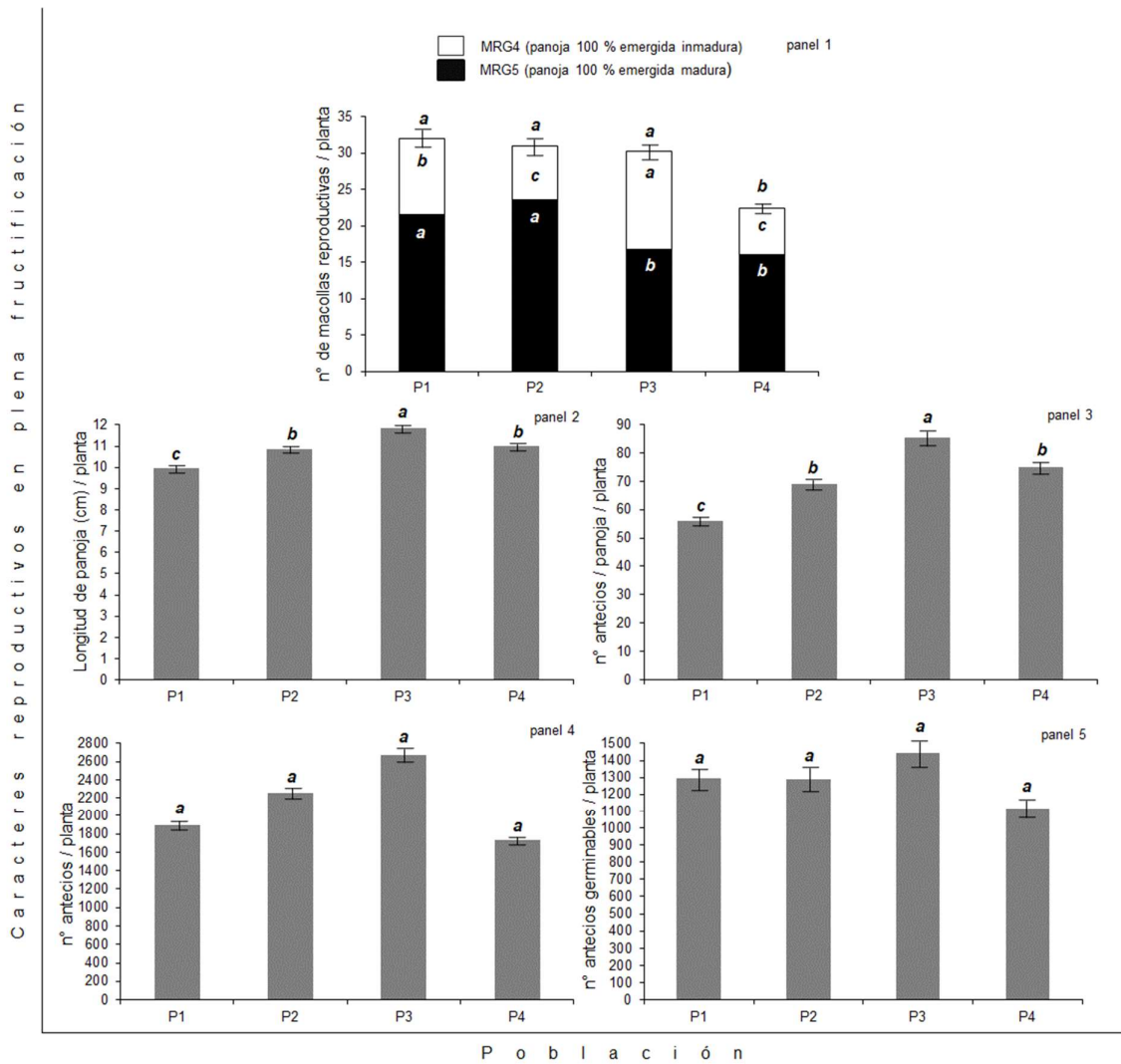


Figura 6.28. Caracteres reproductivos registrados en plena fructificación (05/01/2016) en el 3er año en plantas de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de n=102. Letras diferentes dentro de cada variable indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey. Note las diferentes escalas entre paneles.

Los resultados del estudio de germinación realizado con cariósides cosechados en la fecha de muestreo (8) mostraron diferencias significativas entre las poblaciones en los tres parámetros germinativos. La población 1 tuvo mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de germinación acumulada que P2; y P2 fue similar ($p > 0,05$) a P3 y P4. La población 1 tuvo mayor ($p \leq 0,05$) índice de velocidad de germinación que P2 y P3. La población 2 fue similar a P3 pero inferior a ($p \leq 0,05$) a P4 (Fig. 6.29).

El mayor ($p \leq 0,05$) tiempo al 50 % de germinación acumulada se observó en P2, y el menor en P1. Dicha variable fue similar en ($p > 0,05$) en P1, P3 y P4, y en P2, P3 y P4 (Fig. 6.29).

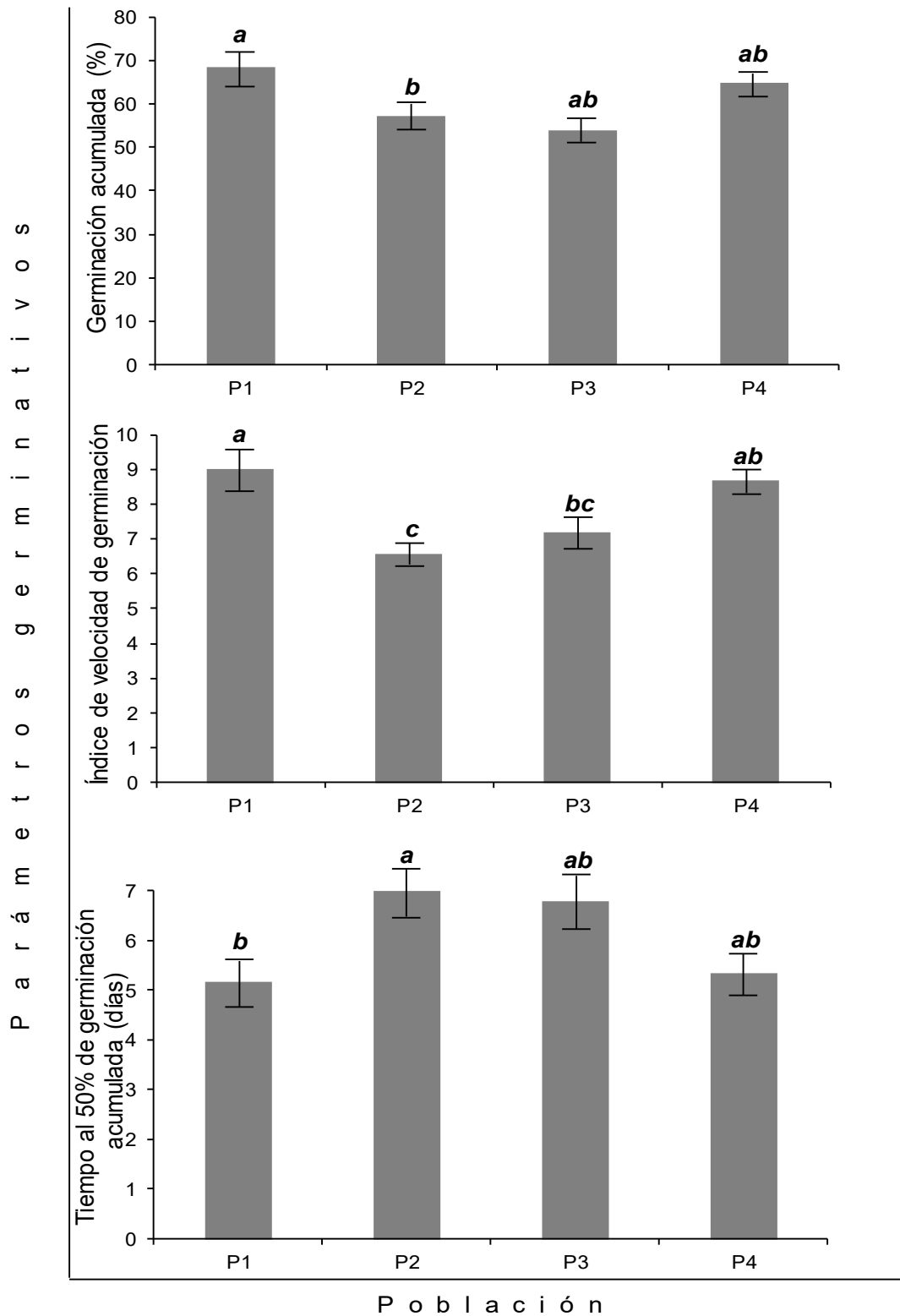


Figura 6.29. Parámetros germinativos de carióspsides de cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum* cosechadas en plena fructificación en el 3er año (05/01/2016). Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=6$. Letras diferentes dentro de cada parámetro indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre poblaciones. Prueba de Tukey.

Resiembra potencial

Los resultados de las variables asociadas a la resiembra potencial fueron los siguientes:

Para el porcentaje de supervivencia de plantas no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las poblaciones (Fig. 6.30). Todas las poblaciones presentaron valores mayores a 95%, sin diferencias significativas ($p > 0,05$) con respecto al 100% de supervivencia (Fig. 6.30).

Para el número de antecios germinables por m^2 no se observaron diferencias significativas entre poblaciones ($p = 0,53$) (Fig. 6.31).

Para el número de plántulas potenciales para la resiembra natural por m^2 se observaron diferencias significativas entre poblaciones ($p = 0,005$) (Fig. 6.31). P3 resultó superior ($p \leq 0,05$) al resto de las poblaciones, y P2 fue superior a ($p \leq 0,05$) a P1 y P4 que no tuvieron diferencias entre si ($p > 0,05$) (Fig. 6.31).

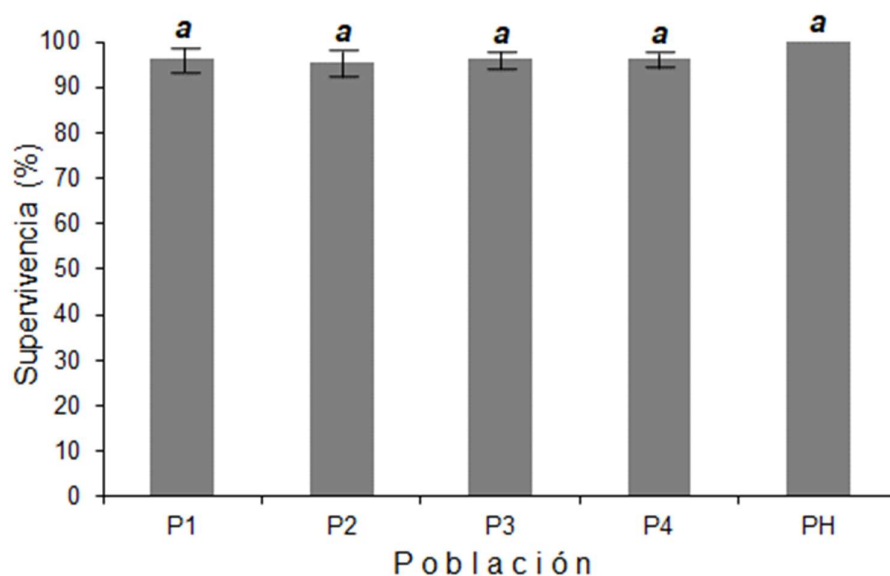


Figura 6.30. Porcentaje de supervivencia de plantas en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum* al final del período estudiado. Cada histograma es el promedio \pm 1 error estándar (barras verticales) de $n=9$. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las poblaciones. Prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). PH= población hipotética con 100% de supervivencia.

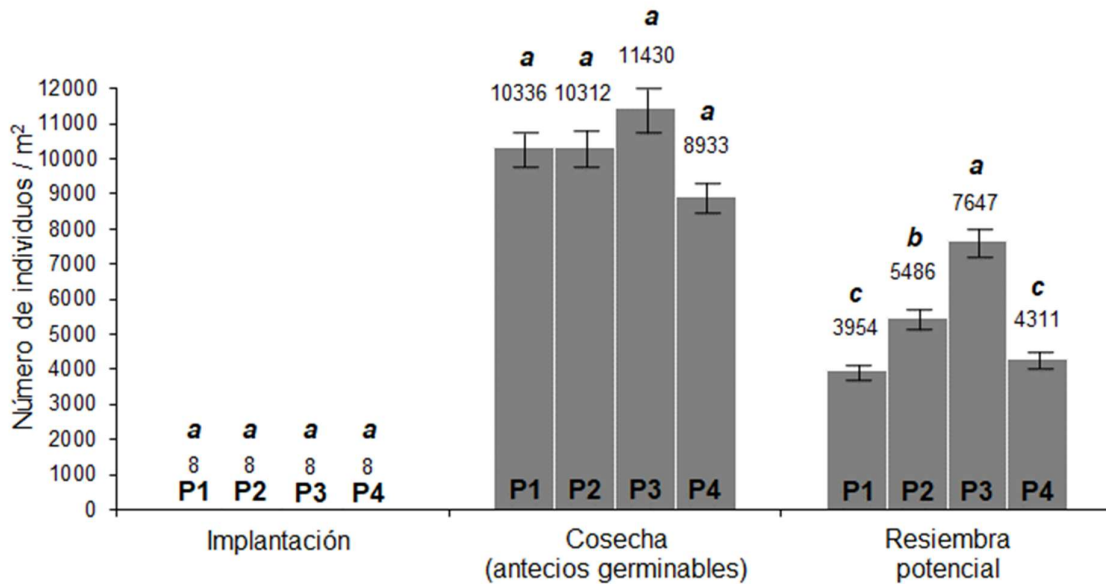


Figura 6.31. Número de individuos por m² según las etapas (Implantación; Cosecha; Resiembra potencial) en la sucesión de plántulas implantadas-plántulas potenciales para la resiembra natural en el 3er año en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*. Cada histograma es el promedio ± 1 error estándar (barras verticales) de n=104. Letras diferentes dentro de cada etapa indican diferencias significativas (p<0,05) entre poblaciones. Prueba de Tukey.

6.4 Discusión

Estudios en condiciones semi-controladas

Germinación y emergencia

La germinación es el primer paso de una serie de eventos que, bajo condiciones favorables, producirán un nuevo individuo (Soriano, 1960). Además, tanto la germinación como los mecanismos de dormición son de gran importancia adaptativa ya que aseguran que la emergencia de las plántulas ocurra en el tiempo y lugar más ventajoso (Bewley & Black, 1994). Los resultados de este estudio mostraron diferencias significativas entre las poblaciones de *P. vaginatum* estudiadas para los tres parámetros germinativos analizados (porcentaje de germinación acumulada, índice de velocidad de germinación y tiempo hasta 50 % de germinación acumulada). La población 3 presentó diferencias significativas (p<0,05) (1) con P1 para porcentaje de germinación acumulada (Fig. 6.2), (2) con el resto de las poblaciones para el índice de velocidad de germinación (Fig. 6.2), y (3) con P4 para el tiempo hasta 50 % de germinación acumulada (Fig. 6.2). La respuesta de P3 podría atribuirse en parte a que considerando los meses previos (enero-noviembre) en el año de recolección de las semillas (diciembre de 2012), las precipitaciones en la región del sitio de recolección de P3 superaron en un promedio de 41,6 % a las precipitaciones en las regiones de los otros sitios de recolección. Los resultados coinciden con lo informado por Casalla et al. (2010) y Entio et al. (2011), quienes también encontraron variabilidad para parámetros germinativos entre poblaciones naturales de *P. vaginatum* recolectadas en el sur de la provincia fitogeográfica del Monte.

Los porcentajes de germinación acumulada obtenidos en este estudio variaron entre 69,5 y 88,7 % (Fig. 6.2). Estos resultados son superiores a los informados por Casalla et al. (2010) y por Entio et al. (2011) quienes obtuvieron valores entre 5,6 y 17

% y entre 30,5 y 73,5 %, respectivamente. Esto podría explicarse por las diferentes poblaciones utilizadas (P1, P2, P3, P4), regímenes térmicos ($T^{\circ}\text{C}$ media: 20,7) y/o regímenes lumínicos [12 h luz/12 h oscuridad; intensidad lumínica (PAR) promedio de $11,2 \pm 1,05 \mu\text{mol m}^{-2} \text{seg}^{-1}$ (media ± 1 EE)] ensayados en este estudio en comparación a los estudios previos. Estos estudios previos de Casalla et al. (2010) y Entio et al. (2011) se realizaron con los mismos materiales genéticos (distintos a los estudiados en esta tesis) recolectados en el mismo año, pero bajo diferentes condiciones de temperatura media y lumínicas (14,5°C con fluctuación luz-oscuridad, y 20,7°C en oscuridad permanente, respectivamente). Esto permitiría atribuir un importante efecto de la temperatura sobre el porcentaje de germinación acumulada. Martínez et al. (1992) y Entio et al. (2014b) informaron que la luz afecta positivamente la germinación de semillas de *P. vaginatum*. Por otra parte, en otro estudio de germinación bajo condiciones controladas, pero con semillas de *Pappophorum caespitosum* y *P. philippianum* recolectadas en el Chaco árido de Argentina, se informaron porcentajes de germinación de 50 y 51 %, respectivamente (Quiroga et al., 2009).

La emergencia de plántulas de gramíneas perennes nativas del Monte depende de la ocurrencia de años excepcionalmente lluviosos (Marone et al., 2000). Así lo confirman Greco et al. (2013) en un estudio en *Pappophorum caespitosum* y *Trichloris crinita*. Estos autores, informaron que el evento mínimo de precipitación para permitir la emergencia de plántulas de dichas especies debería ser de 40 mm. En la Chacra Experimental de Patagones ocurrieron 111 eventos de precipitaciones mayores a 40 mm en un período de 10.585 días (1981-2010). Con respecto a los parámetros de emergencia registrados en este estudio (porcentaje de emergencia acumulada e índice de velocidad de emergencia), en condiciones semi-controladas y sin restricciones hídricas, se encontró variabilidad entre las poblaciones de *P. vaginatum* estudiadas (Figs. 6.3 y 6.4). En general, P3 resultó superior para ambos parámetros y presentó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con P1 y P4. Como fuera mencionado anteriormente para el porcentaje de germinación acumulada esta respuesta también podría ser atribuida en parte a las mayores precipitaciones en la región del sitio de recolección de P3 en comparación a los otros sitios durante el año de recolección de las semillas. En otro estudio en condiciones semi-controladas y sin restricciones hídricas, Gil Báez et al. (2015) también informaron diferencias en el porcentaje y velocidad de emergencia entre poblaciones naturales de *Trichloris crinita* (gramínea perenne nativa presente en la región del Monte). Los porcentajes de emergencia acumulada bajo condiciones semi-controladas y sin restricciones hídricas obtenidos al final de este estudio variaron entre 38,2 (P1) y 66,9 % (P3) (Fig. 6.3), mientras que los informados por Gil Báez et al. (2015) para *Trichloris crinita* en general variaron entre 50 y 70 %. Greco et al. (2013) informaron valores que no superan el 44 %, aunque en este caso la disponibilidad hídrica fue limitante.

La existencia de variabilidad encontrada entre las poblaciones estudiadas es promisoría para la mejora genética de la implantación.

Por otra parte, el hecho que las semillas posean buenos parámetros germinativos y de emergencia no sólo sería ventajoso para la implantación artificial, sino también para la resiembra natural, ya que posibilitaría que una mayor cantidad de individuos puedan aprovechar mejor los eventos de precipitación para germinar, emerger y establecerse con éxito.

Estudio de campo

Implantación y crecimiento inicial

Los resultados de esta investigación mostraron la existencia de variabilidad intra e interpoblacional para la mayoría de los caracteres analizados durante el año de implantación y al inicio del crecimiento en el 2do año. En general dichos caracteres mostraron una mayor significación en la variabilidad interpoblacional que intrapoblacional. Esto es esperable en especies autógamas (Ramakrishnan et al., 2004) como sería el caso de las especies que componen el género *Pappophorum* spp debido a la presencia de cleistogamia (Campbell et al., 1983; Rossengurt, 1984; Pensiero, 1986). Por su parte, aunque en estadio de plántula y en condiciones controladas, Entio et al. (2014c) informaron la existencia de variabilidad en caracteres vinculados al crecimiento inicial entre poblaciones de *P. vaginatum* recolectadas también en el sur de la región del Monte.

Teniendo en cuenta la producción de macollas reproductivas totales como un indicador de crecimiento inicial luego de la implantación [fechas de muestreo (1) (10/12/2013) y (2) (11/02/2014)], P1 resultó superior ($p \leq 0,05$) a las demás poblaciones (Figs. 6.5 y 6.8). Además, al observar los resultados de la fecha de muestreo (1) (10/12/2013) se podría inferir que P1 sería más precoz en iniciar su floración debido a que presentó un 47,7 % más de macollas reproductivas totales en una etapa temprana del ciclo reproductivo que el promedio de las otras poblaciones (Fig. 6.5). Aún más, presentó al menos 3 veces más macollas reproductivas de Grado 5 (100 % de panoja emergida madura) que las demás poblaciones (Fig. 6.5). Cabe destacar que en la fecha de muestreo (1) (10/12/2013: etapa temprana del periodo reproductivo) las macollas reproductivas de Grado 1 (botón floral) predominaron en todas las poblaciones (86,7 %, 88,9 %, 89,9 % y 92,1 % de las macollas reproductivas totales por planta para P1, P2, P3 y P4, respectivamente). En cuanto a la variabilidad intergenotípica dentro de cada población, sólo P2 (para número de macollas reproductivas totales y Grado 2 y 4) y P1 (para número de macollas reproductivas Grado 1 y 4) presentaron diferencias (Fig. 6.6). En la fecha de muestreo (2) (11/02/2014: etapa avanzada del período reproductivo) sólo se observaron macollas reproductivas de Grado 5 (100 % panoja emergida madura), y P2 fue la única que presentó diferencias intrapoblacionales (Fig. 6.7). Gil Báez et al. (2015) también encontraron diferencias significativas entre poblaciones de *Trichloris crinita* de la región del Monte teniendo en cuenta el número de macollas reproductivas por planta (100 % panoja emergida madura) como indicador de crecimiento inicial durante el primer ciclo reproductivo luego de la implantación.

En referencia a la implantación propiamente dicha, la misma se evaluó a través de la supervivencia y el diámetro basal de las plantas o diámetro de la mata al finalizar el año de implantación [fecha de muestreo (3) (17/09/2014)]. El porcentaje de supervivencia fue elevado (>95 %) y similar ($p > 0,05$) en las cuatro poblaciones, de la misma manera que el diámetro de las matas (rango 3,71 - 3,98 cm). Esto indicaría que las cuatro poblaciones estudiadas tienen un potencial similar para el establecimiento a campo. Sin embargo, cabe aclarar que se aplicó un riego (hasta inundar cada surco) al inicio de cada mes durante el primer verano (diciembre, enero, febrero) luego de la implantación para asegurar el éxito del ensayo. En cuanto a la variabilidad intergenotípica dentro de cada población, P1, P2 y P3 presentaron diferencias (Fig. 6.11). Estos resultados difieren de aquellos obtenidos en poblaciones de *Trichloris crinita* (otra gramínea estival perenne nativa presente en la región árida y semiárida de Argentina), en los que se informaron diferencias significativas para el diámetro de la mata tanto al finalizar el año de implantación (Gil Báez et al., 2015) como en

promedio luego de tres años de mediciones, al final de cada ciclo de crecimiento en tres localidades (Cavagnaro et al., 2006). No obstante, en ninguno de estos estudios se aclara la realización de algún tipo de riego inicial.

En la fecha de muestreo (3) (17/09/2014) se registraron además el número de macollas con hojas verdes y la longitud de la lámina más larga por planta como indicadores del crecimiento inicial luego del reposo invernal en el 2do año. Para ambos parámetros se observó variabilidad intergenotípica sólo dentro de P1 y P4 (Fig. 6.13). También para ambos parámetros, se observó que P3 y P4 resultaron similares ($p > 0,05$) entre ellas y superiores ($p \leq 0,05$) a P1 y P2 [que a su vez resultaron similares ($p > 0,05$) entre ellas] lo cual permitió distinguir dos grupos de poblaciones (Figs. 6.12 y 6.14). La población 3 y P4 tuvieron en promedio casi un 50% más de macollas con hojas verdes por planta y una longitud de lámina un 30% superior al promedio de P1 y P2. El hecho que P3 y P4 tuvieran valores superiores para estos caracteres evidenció que las mismas comenzaron a crecer más temprano durante el invierno con temperaturas más bajas. Así, se esperarí una mayor acumulación de materia seca a principios de primavera, y por lo tanto un mayor aprovechamiento de los recursos disponibles en esta época, y una mayor acumulación total de biomasa seca en estas poblaciones. Otros estudios, en gramíneas perennes estivales nativas presentes en las regiones áridas y semiáridas de Argentina [Cavagnaro et al., 2006 (en *Trichloris crinita*), y Pensiero et al., 2011 (en *Setaria lachnea*)], también informaron diferencias significativas entre poblaciones para el carácter longitud de lámina. Pensiero et al. (2011) también informaron una clara diferenciación en dos grupos de las nueve poblaciones estudiadas.

Continuando con el análisis del crecimiento inicial en el 2do año, en la fecha de muestreo (4) (05/11/2014) se registraron el diámetro de la mata, la altura de planta y el número de macollas reproductivas por planta. Para el diámetro de la mata sólo se observaron diferencias intergenotípicas dentro de P2 y no hubo diferencias significativas entre las poblaciones, aunque como era esperable se observó un aumento en dicho diámetro con respecto a la fecha de muestreo (3) (17/09/2014) (18 a 36 % según la población). A su vez, los valores de supervivencia de plantas también resultaron superiores al 95% para todas las poblaciones, lo que confirmó la alta y uniforme implantación de los materiales estudiados. Para la altura de planta se observaron diferencias intergenotípicas sólo dentro de P2 y P3 (Fig. 6.16). Entre poblaciones este carácter varió entre 20,2 y 24,4 cm y se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Así, P3 y P4 resultaron las de mayor ($p \leq 0,05$) altura y P1 la de menor ($p \leq 0,05$) altura (Fig. 6.17). Torres et al. (2013a) en un estudio realizado con genotipos de *P. vaginatum* en el mismo ambiente de esta investigación, informaron una altura de planta promedio de 26 cm para un periodo de crecimiento similar. Los resultados del presente estudio coinciden con otras investigaciones realizadas en poblaciones de *Trichloris* spp donde se informó variabilidad para este carácter tanto al inicio (Quiroga, 2011) como al final del año de implantación (Gabutti, et al., 2011; Gil Báez et al., 2015), y también para el promedio de valores medidos al final de cada ciclo de crecimiento durante tres años y en tres localidades (Cavagnaro et al., 2006). Pensiero et al. (2011) también hallaron variabilidad entre poblaciones naturales (de Argentina) de *Setaria lachnea* para la altura de planta. Casler (2005) y Price & Casler (2014) informaron variabilidad para este carácter tanto entre poblaciones naturales como dentro de una población experimental de *Panicum virgatum* (gramínea estival perenne nativa de Norte América).

Para el número de macollas reproductivas totales por planta se observó variabilidad intergenotípica sólo dentro de dos poblaciones (P2 y P4) (Fig. 6.18); mientras que no

se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las poblaciones (rango: 7,2 – 8,7). Por su parte, para el número de macollas reproductivas G2-G5 el rango de variación fue mayor (1,98 – 4,08) y se observó que P1 superó ($p \leq 0,05$) en un promedio de 70 % a las demás poblaciones (Fig. 6.19). Este resultado, al igual que aquel en la fecha de muestreo (1) (10/12/2013), evidenció a P1 como la población más precoz en iniciar su floración debido a que presentó mayor cantidad de macollos reproductivos más maduros por planta en una etapa inicial del ciclo reproductivo. Diferencias en el inicio de la floración también fueron informadas por Exner et al. (2010) en diferentes poblaciones de *Setaria lachnea*. El comienzo del ciclo reproductivo es un carácter importante a tener en cuenta en programas de selección de especies forrajeras (Allard, 1999). Así, seleccionar materiales con un inicio de floración más tardío permitiría extender la producción de forraje de mejor calidad, debido a que el inicio de esta etapa se asocia a una reducción en la calidad (Green et al., 1971; Guaita et al., 1989; Smethan, 1990; Pontes et al., 2007). Se destaca que para este carácter (inicio de floración) es esperable una alta respuesta a la selección ya que, tanto en gramíneas como en otras familias, se informaron altos valores de heredabilidad (Mazer & Schick, 1991; Quinn & Wetherington, 2002; Weis & Kossler, 2004).

Producción y calidad de forraje

Para la producción de biomasa seca aérea se observó variabilidad intergenotípica dentro de P1 y P2 (para todos los cortes y para el total acumulado al final del periodo de estudio) y dentro de P4 (Cortes 3 y 4) (Fig. 6.24). También se observó variabilidad entre las poblaciones en el Corte 1 y en el Corte 4 (Fig. 6.25). El Corte 1 sirvió como estimador del crecimiento inicial, además de evaluar la producción de biomasa seca en una posible primera fecha de pastoreo (17 meses después de la implantación). Así P3 y P4, que en la fecha de muestreo (3) (17/09/2014) habían mostrado los mayores ($p \leq 0,05$) valores en caracteres precoces indicadores de crecimiento inicial (número de macollas con hojas verdes y longitud de lámina por planta), estuvieron entre las poblaciones con mayores rendimientos de biomasa seca aérea para el Corte 1. Las posibles asociaciones entre dichos caracteres y su utilidad para la selección indirecta tanto para producción de biomasa seca aérea como de semillas serán discutidas más adelante.

Las poblaciones estudiadas no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en la producción de biomasa seca aérea acumulada al final del período de estudiado. En promedio, las cuatro poblaciones tuvieron un rendimiento de 43 g/planta con el 50 % de la producción en el Corte 3 (Fig. 6.25). Para P1 se observó un valor bajo para este carácter que se podría asociar a su tendencia tanto a iniciar más precozmente la etapa reproductiva [ver discusión fechas de muestreo (1), (2), (3), (4), (5) y (8)] como a un mayor reposo invernal [(ver discusión fecha de muestreo (3))]. Considerando la biomasa seca aérea acumulada en un ciclo anual de crecimiento (Corte 2 + Corte 3 + Corte 4), las poblaciones tuvieron en promedio una producción de 33,6 g/planta (269 g/m²) con una distribución media de 28, 64 y 8 % para primavera (Corte 2), verano (Corte 3) y otoño (Corte 4), respectivamente, desde 30 meses luego de la implantación. Torres et al. (2013a), en una investigación realizada con genotipos de *P. vaginatum* en el mismo sitio de estudio y ciclo de crecimiento, luego de 26 meses desde la implantación, informaron un valor promedio de biomasa seca aérea anual acumulada de 8 g/planta (88,8 g/m²). Esta diferencia podría explicarse principalmente por el promedio de precipitación de los dos años centrales de cada ensayo. Así, dicho promedio en la presente investigación (años 2014 y 2015: 537,5 mm) fue un 50 % superior al de la investigación de Torres et al. (2013a) (años 2006 y 2007: 357,8 mm).

Se destaca (también considerando los dos años centrales), que el presente estudio tuvo un promedio anual de precipitaciones un 24 % superior al promedio anual histórico (1981-2016: 434,2 mm). Además, se ubicó dentro de un periodo de años húmedos para la región (2010-2016) cuya media anual (522,6 mm) superó al promedio histórico en un 20 %. Por su parte, la evaluación de Torres et al. (2013a) no sólo tuvo un promedio anual de precipitaciones un 18 % inferior al promedio histórico, sino que además se ubicó dentro de un periodo seco para la región (2005-2009) cuya media anual estuvo un 35,5 % por debajo (280,1 mm) del promedio anual histórico. Otras diferencias fueron la mayor densidad de plantas ensayada por Torres et al. (2013a) (11,1 plantas/m²; casi un 40 % superior a la del presente estudio), lo cual pudo haber aumentado la competencia entre plantas, sobre todo en años secos. Finalmente, en el presente estudio se consideró el crecimiento desde el corte de verano (Corte3) hasta el inicio del reposo invernal (Corte 4). Otras investigaciones encontraron variabilidad en la producción de biomasa seca aérea en otra gramínea perenne nativa de las regiones áridas/semiáridas de Argentina. Así, Gil Báez et al. (2015) informaron en poblaciones de *Trichloris crinita* valores de entre 68 y 664 g MS/m²; sin embargo, considerando un período de crecimiento anual similar al del presente estudio, dichos valores fluctuaron entre 52 y 380 g MS/m² aproximadamente. A su vez, Cavagnaro et al. (2006) también en poblaciones de *Trichloris crinita* informaron valores promedio para tres localidades y temporadas de crecimiento de entre 35 y 296 g MS/m². Por su parte, Price & Casler (2014) en un estudio en un material experimental de *Panicum virgatum* (especie gramínea perenne C₄ nativa de Norte América y utilizada en la región semiárida central de Argentina) informaron valores de entre 120 y 1268 g MS/m² (variabilidad atribuida a diferencias genéticas). En estudios de la producción en pastizales naturales, Sanford & Wangari (1985) informaron a nivel global valores entre 16 y 86 g MS/m² para regiones áridas y semiáridas, y de entre 705 y 1381 g MS/m² para zonas húmedas. Deregibus (1988) informó un valor promedio de 72 g MS/m² para Patagonia Norte (región donde se encuentra el sitio de estudio).

En referencia a la calidad de la biomasa seca aérea, la mayoría de los parámetros evaluados variaron de manera diferencial ($p \leq 0,05$) según el momento de corte (C1, C2, C3, C4) y las poblaciones (P1, P2, P3, P4) (Figs. 6.26 y 6.26 cont). Uno de los parámetros más importantes es el contenido de proteína del forraje, ya que es el primero que limita la ingesta voluntaria de los herbívoros seguido por el contenido de fibra (Minson, 1981). Considerando las cuatro poblaciones y cortes, la proteína bruta tuvo un promedio de 10,4 %, porcentaje que se mantuvo al menos como mínimo dentro del rango 6 - 8 %, que según Hennessy (1980) y Moore & Kunkle (1995) sería el umbral mínimo requerido por el ganado para no limitar su consumo voluntario. Cabe destacar a P2 que en tres de los cuatro cortes tuvo mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de proteína bruta que el resto de las poblaciones. Además, considerando el promedio de dicho carácter durante la época de principal aprovechamiento (Corte 2 y 3), superó ($p \leq 0,05$) entre casi un 15 y un 26 % a las demás poblaciones. P2 también se destacó por presentar mayor ($p \leq 0,05$) total de nutrientes digestibles y energía metabolizable que las demás poblaciones en el aprovechamiento de verano (Corte 3). Silva Colomer et al. (1989) en un estudio en poblaciones de *Trichloris crinita* también informaron variabilidad para el porcentaje de proteína bruta con valores que estuvieron por encima del umbral requerido por el ganado (rango: 8 – 10,2 %). Otras investigaciones informaron variabilidad para proteína bruta (%) entre especies de gramíneas perennes estivales, tanto nativas como introducidas, presentes en regiones áridas/semiáridas de Argentina. Por ejemplo, en estudios que abarcaron diferentes momentos del año, Ferrando et al. (2006) informaron valores de entre 4,7 y 15,8 % de proteína bruta para

ocho gramíneas nativas del Chaco Árido; mientras que Stritzler (2008) informó valores de entre 2,6 y 14,3 % para siete gramíneas introducidas. Por otra parte, considerando el promedio de todas las poblaciones y cortes, para fibra bruta (%), grasa bruta (%), extracto no nitrogenado (%), total de nutrientes digestibles (%), cenizas (%) y energía metabolizable (Mcal/kg) se observaron valores de 32,6; 2; 39,8; 48,4; 9,7 y 1,7, respectivamente. En general otros trabajos informaron resultados que difieren de los valores obtenidos en esta investigación. Por ejemplo, Correa et al. (2002) informaron valores promedio de cenizas similares (9,7 %) y de energía metabolizable superiores (1,9 Mcal/kg) para cinco gramíneas forrajeras presentes en pastizales del noroeste de Argentina. Toll Vera et al. (2003) informaron valores promedio de cenizas (10,62 %) y de fibra bruta superiores (35,5 %) y de grasa bruta inferiores (1,2 %) en cultivares de 8 especies de gramíneas perennes forrajeras evaluados en la provincia de Tucumán (Argentina). Por su parte, Camarão & Marquez (1995) informaron valores promedio de fibra bruta inferiores (31,4 %) y de extracto no nitrogenado (52,4 %) y total de nutrientes digestibles superiores (45 %) en gramíneas forrajeras nativas de Brasil. Cabe destacar que para todos los estudios mencionados hubo variabilidad entre los materiales evaluados.

Producción y calidad de semillas y resiembra potencial

En especies forrajeras, además de la producción y calidad de la biomasa aérea, es fundamental tener en cuenta la producción de semillas para la difusión de los cultivares. A su vez, este carácter también puede ser clave para la persistencia de dichas especies en los ambientes de uso mediante la resiembra natural (Yang et al., 1988; Entio & Mujica, 2011). La mayoría de los caracteres registrados y analizados en las fechas de muestreo (5) (16/12/2014) y (8) (05/01/2016) mostraron la existencia de variabilidad intra e interpoblacional. La fecha de muestreo (5) (16/12/2014) se realizó en el segundo ciclo reproductivo desde la implantación (25/10/2013) y al inicio de la etapa de fructificación. Se observaron diferencias intergenotípicas en P2, P3 y P4 en el número de macollas totales por planta; para todas las poblaciones en el número de antecios por panoja por planta; y sólo para P2 en el número de antecios por planta (Fig. 6.20). En cuanto a la variabilidad entre las poblaciones, si bien el número de macollas reproductivas totales (rango: 14,4 – 16,8) no presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) (Fig. 6.21), se observó que P1 tuvo un valor más elevado que al resto de las poblaciones. Esto evidenciaría nuevamente la tendencia de P1 a una mayor precocidad para iniciar el ciclo reproductivo, cuyas posibles implicancias en cuanto a la calidad del forraje fueron discutidas anteriormente (Green et al., 1971; Guaita et al., 1989; Smethan, 1990; Pontes et al., 2007). Torres et al. (2013a) en un estudio realizado con genotipos de *Pappophorum vaginatum* en el mismo ambiente de esta investigación, informaron un valor promedio de 18 macollas reproductivas por planta para un periodo de crecimiento similar. Por otra parte, a pesar que P1 tuvo menor ($p \leq 0,05$) longitud de panoja y número de antecios por panoja que las demás poblaciones, su producción de antecios por planta no fue superada ($p > 0,05$) por ninguna de las demás poblaciones. Esto es esperable ya que uno de los determinantes del número de antecios por planta es el número de macollas reproductivas por planta, carácter para el cual P1 presentó un valor elevado. También, se destaca que P4 además de ser una de las poblaciones con valores más elevados para todos los caracteres reproductivos evaluados fue una de las poblaciones con mayor ($p \leq 0,05$) número de macollas vegetativas por planta, lo cual, como fuera discutido, se asociaría a una mejor calidad de forraje.

La fecha de muestreo (8) (05/01/2016) se realizó en el tercer ciclo reproductivo desde la implantación y en plena fructificación. Así, se observaron diferencias intergenotípicas en P2 para el número de macollas reproductivas totales; en P3 y P4 para el número de macollas reproductivas Grado 5; en P2 y P4 para la longitud de panoja por planta, el número de antecios por planta y el número de antecios germinables por planta; en P2, P3 y P4 para el número de antecios por panoja por planta; y en todas las poblaciones para el número de macollas reproductivas Grado 4 por planta (Fig. 6.27 y 6.27 cont.). En cuanto a la variabilidad interpoblacional, el número de macollas reproductivas totales por planta varió según la población entre 22 y 32 y su promedio superó en casi un 80 % al promedio registrado en la fecha de muestreo (5). Se observó que P1 y P2 estuvieron entre las poblaciones con mayor ($p \leq 0,05$) número de macollas reproductivas totales por planta; además fueron las dos poblaciones con mayor ($p \leq 0,05$) número de macollas reproductivas Grado 5 por planta. Esto evidenció la mayor precocidad en el inicio del ciclo reproductivo de P1 y P2 con respecto a P3 y P4. También en estudios de otras gramíneas perennes nativas C_4 presentes en la región árida/semiárida de Argentina, Cavagnaro et al. (2006), Quiroga (2011) y Gil Báez et al. (2015) informaron variabilidad para el número de macollas reproductivas por planta entre poblaciones de *Trichloris crinita*. Por otro lado, Exner et al. (2010) informaron variabilidad para dicho carácter entre y dentro de poblaciones de *Setaria lachnea*. Por otra parte, al igual que en la fecha (5) (16/12/2014) P1 resultó inferior ($p \leq 0,05$) a las demás poblaciones para los caracteres longitud de panoja y número de antecios por panoja por planta. A pesar de esto, su producción de antecios por planta no fue superada por ninguna de las demás poblaciones ya que compensó con el número de macollas reproductivas por planta. Cabe destacar que en este estudio el promedio de longitud de panoja fue de 10 y 10,9 cm para las fechas de muestreo (5) y (8), respectivamente. Sin embargo, Maher et al. (2010) y Smith (2010) informaron para un material seleccionado de *P. vaginatum* un valor promedio para este carácter de 18,5 cm. Otros estudios también informaron variabilidad entre y/o dentro de poblaciones en distintos caracteres reproductivos en gramíneas perennes estivales: (A) en *Setaria lachnea* (1) para inicio y mitad de floración (Exner et al., 2010), (2) extensión del periodo de emergencia de panojas (Exner et al., 2010; Pensiero et al., 2011), (3) porcentaje de fructificación (Pensiero et al., 1995; Exner et al., 2010; Pensiero et al., 2011), (4) peso de semillas (Pensiero et al., 1995), (5) grado de cleistogamia (Pensiero et al., 1995) y (6) comportamiento germinativo (Pensiero et al., 1995, 2011); (B) en *Trichloris* spp para el porcentaje de fructificación (Gutierrez et al., 2016; Kozub et al., 2017) y peso de semillas (Gutierrez et al., 2016) y (C) en *Panicum virgatum* para la longitud de panoja (Price & Casler, 2014).

Con los antecios cosechados en la fecha de muestreo (8) se realizó un estudio de germinación cuyo resultado para el parámetro germinación acumulada (%) varió entre 54 y 68 % según la población. Así, se observó que no hubo variabilidad entre las poblaciones para el número de antecios germinables por planta (rango: 1116 – 1443), aunque P3 presentó un valor más elevado. Considerando la densidad de plantas en este estudio (8 plantas/m²) y una referencia de peso de 1000 carióspsides (con sus coberturas: lemma y pálea) de 1 g (Smith, 2010) los rendimientos serían de entre 89 y 115 kg/ha. Otros autores también estudiaron la producción de semillas en *Pappophorum* spp. Smith (2010) estimaron para germoplasma de *P. vaginatum* seleccionado en el sur de Estados Unidos, un rendimiento promedio para tres cosechas anuales de 66 kg/ha, aunque con una densidad de 3,65 plantas/m². Por su parte, Pol et al. (2010) en un estudio en un pastizal de la región del Monte central de

Argentina informaron que *Pappophorum* spp produjo 2,61 kg/ha con una densidad de 0,3 plantas/m², considerando la mejor de tres temporadas de crecimiento. Así, los valores obtenidos en el presente estudio representan sólo una cosecha dentro del periodo reproductivo que en general se extiende de diciembre a marzo. Vale aclarar que el promedio de las precipitaciones de los años estudiados superaron en un 34 % al promedio de precipitaciones históricas, y que según Pol et al. (2010) *Pappophorum* spp produce más del doble de semillas en un año lluvioso que en otro seco. También para germoplasma de otra gramínea perenne nativa (*Trichloris crinita*: cv. Chamental INTA) seleccionado para el Chaco Árido de Argentina se informaron rendimientos de 392 kg/ha (INTA, 2013). Por su parte Pol et al. (2010) informaron que *Trichloris crinita* llamativamente fue la única entre siete especies de gramíneas perennes estivales que produjo significativamente más semilla en un año seco que en otro lluvioso en la región del Monte Central de Argentina. Sin embargo, Mora et al. (2005) en un estudio de producción de semilla de esta especie bajo diferentes condiciones de manejo informaron que el valor más elevado (214 kg/ha) se obtuvo con el tratamiento de riego. Para otra gramínea perenne estival (*Panicum coloratum*), introducida desde la sabana africana, Petrucci et al. (2003) informaron una producción de semillas de 70 kg/ha y de 5-40 kg/ha para el norte de Córdoba y la región semiárida pampeana, respectivamente.

En el presente estudio el número de individuos implantados por unidad de superficie fue de 8 plantas/m² y no varió significativamente para ninguna de las poblaciones hasta el final del período estudiado (Fig. 6.31). La población 3 mostró el mayor ($p \leq 0,05$) potencial de resiembra natural con al menos un 28,3 % más de plántulas en la siguiente generación que las otras tres poblaciones (Fig. 6.31). Este mayor potencial de resiembra natural de P3 podría asociarse a que tuvo valores altos tanto de producción de antecios germinables por planta (ver Fig. 6.28) como de emergencia acumulada (%) (ver Fig. 6.3). No obstante, las cuatro poblaciones de *P. vaginatum* estudiadas pueden lograr un alto potencial de resiembra natural considerando que el número de plántulas potenciales por m² fue como mínimo casi 500 veces la cantidad de individuos originalmente implantados por m². En un estudio en *Dactylis glomerata*, Yang et al. (1988) indicaron que las eficiencias de implantación por resiembra natural bajo diferentes sistemas de pastoreo fluctuaron entre 0,96 y 5,32 %. Suponiendo para *P. vaginatum* una eficiencia intermedia de 3,14 %, según los resultados del presente estudio se podrían esperar como mínimo 325, 324, 359 y 280 plántulas establecidas m² para P1, P2, P3 y P4, respectivamente. Además, es importante resaltar que los valores de semilla producida en este estudio corresponden sólo a una parte de la etapa de fructificación (diciembre), la cual normalmente se extiende desde diciembre a marzo. Según Briske & Richards (1995), la reproducción asexual (producción de macollas desde las yemas axilares) es la principal forma de reproducción de las gramíneas perennes en los pastizales. Sin embargo, y en concordancia con los resultados de este estudio, Torres et al. (2008, 2013a) informaron que las plantas de *P. vaginatum* producen durante su ciclo de crecimiento abundantes antecios, que según Rúgolo de Agrasar et al. (2005) pueden tener una muy buena dispersión por el viento debido a su pequeño tamaño (antecio= 1,5 a 3,5 mm + aristas: 6-9 mm). De esta manera, Torres et al. (2013a) plantean como interrogante cuál sería la forma de reproducción (asexual o sexual) más relevante para explicar la amplia distribución y persistencia de *P. vaginatum* a disturbios en zonas áridas y semiáridas de Argentina. Los resultados obtenidos en el presente estudio, aun teniendo en cuenta que son valores potenciales de resiembra, permitirían suponer que este mecanismo de reproducción sexual es clave para la persistencia a largo plazo de esta especie en los

pastizales del centro de Argentina. Una elevada producción de semillas en poblaciones de *P. vaginatum* implicaría una mayor dispersión de las mismas que podrían germinar y establecerse en micrositios adecuados. Así, la reproducción sexual se vería favorecida y habría que poner a prueba lo informado por Briske & Richards (1995). Desde que genotipos en P3 pueden producir hasta 1400 antecios germinables por planta (Fig. 6.32) es probable que la reproducción sexual tenga un mayor rol que la asexual (producción de macollas hijas/planta) en determinar la persistencia de *P. vaginatum* en una región donde el pastoreo por vacunos y las sequías son disturbios frecuentes. Esto podría ser especialmente cierto donde los fuegos accidentales podrían matar mayor proporción de gramíneas indeseables que deseables (Boo et al., 1996), dejando así micrositios potenciales para el establecimiento de nuevas plantas de *P. vaginatum*. Los incendios mejoran la calidad forrajera del pastizal porque luego del incendio, que quemó la parte aérea de los distintos grupos funcionales del pastizal, se produce el rebrote a partir de yemas (geófitas o criptófitas en el caso de las especies que rebrotan desde tallos subterráneos ubicados debajo de la superficie del suelo; hemicriptófitas en el caso de la mayoría de las gramíneas perennes; caméfitas en el caso de las hierbas entre 0 y 30 cm desde la altura del suelo; fanerófitas en el caso de los árboles y arbustos de más de 30 cm de altura). Este rebrote es palatable a la mayoría de los herbívoros, de alto contenido de nutrientes, y de baja relación C/N (Wright & Bailey, 1982). De esta manera, se deberían hacer estudios que determinen que mecanismo (sexual, asexual) es relativamente más importante en contribuir a la persistencia de *P. vaginatum* a disturbios (ej. pastoreo con o sin condiciones de sequía).

Para varios de los caracteres analizados en este estudio se detectó una mayor significación de la variabilidad interpoblacional que intrapoblacional. Esto podría ser un indicio de que las poblaciones estudiadas podrían ser principalmente autógamas. Según, Loveless & Hamrick (1984) la autogamia homogeneiza los genotipos producidos dentro de una población e incrementa el potencial de diferenciación entre las poblaciones. Por lo tanto, es esperable encontrar mayor variabilidad inter que intrapoblacional en las especies con escasa o nula fecundación cruzada (Jain, 1975; 1976). Esto es debido a que cada población está compuesta por un número limitado de genotipos locales homocigotas adaptados a nichos ecológicos específicos (Stebbins, 1950, 1957; Jain, 1976). Además, Campbell et al. (1983), Rossengurt (1984) y Pensiero (1986) informaron que *Pappophorum* spp presenta cleistogamia, mecanismo que favorece la autofecundación. Por su parte, Garner et al. (2006), Smith (2010) y Smith et al. (2010) informaron que sería autógama o apomíctica de sus experiencias en la obtención de cultivares de *P. vaginatum*, aunque advierten que estudios más específicos sobre el sistema de reproducción de la especie deberían ser realizados. Otra cuestión a destacar es que la especie se desarrolla en regiones áridas – semiáridas; y en general, estos ambientes que no son óptimos para el crecimiento y la reproducción favorecen a la cleistogamia (Campbell et al., 1983).

Por último, cabe destacar que la variabilidad encontrada en este estudio es promisoría para la realización de futuros programas de selección.

ASOCIACION ENTRE CARACTERES RELACIONADOS CON LA IMPLANTACIÓN, PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y PRODUCCION Y CALIDAD DE SEMILLAS

7.1 Introducción

La producción de ganado de carne en el 75 % del territorio continental de Argentina, caracterizado por la presencia de zonas áridas y semiáridas, está basada en el pastoreo de la vegetación nativa (Busso & Fernández, 2018). Así, los pastizales naturales son importantes tanto como factor de producción (por ser el sustento de buena parte de la producción ganadera), como por ser reservorio de biodiversidad cumpliendo un servicio ecológico o ambiental con el consecuente impacto socio-económico (Mujica, 2010a, b).

Los pastizales del centro de Argentina se caracterizan por la escasez de especies de gramíneas perennes nativas primavera-estivales, palatables al ganado doméstico (Busso et al., 2004). Dentro de esta región, específicamente en el sur de la provincia fitogeográfica del Monte, una especie de importancia es *Pappophorum vaginatum* Buckley (prácticamente única gramínea perenne disponible durante la época estival para consumo animal). Esta especie es la gramínea perenne C4, nativa, palatable más abundante durante la primavera y el verano (Giorgetti et al. 1997, 1998, 1999, 2000a, b). Esta situación la expone al sobrepastoreo y actualmente se la considera como una especie decreciente (Torres et al., 2013a). Cabe destacar que *Pappophorum* Schreb es un género de gramíneas nativo del continente americano con 10 especies, de las cuales 7 habitan en zonas áridas y semiáridas de Argentina y regiones limítrofes (Pensiero, 1986). *Pappophorum vaginatum* Buckley puede ser hallada en Argentina no sólo en la Provincia Fitogeográfica del Monte, sino también en la Pampeana, del Espinal y sudeste de la Chaqueña (Pensiero, 1986).

Una contribución valiosa para la recuperación, mantenimiento y aumento de la biodiversidad es la domesticación de especies nativas y naturalizadas con aptitud forrajera, así como también las introducciones (Mujica, 2010a, b). Por otra parte, el establecimiento de forrajeras mejoradas, entre otras tecnologías, puede aumentar sustancialmente la capacidad de carga del área semiárida Argentina (Garbulsky & Deregibus, 2004). Las especies forrajeras nativas y/o naturalizadas, están adaptadas a condiciones específicas del ambiente (Pistorale et al., 2008); por ello según Mujica (2010a, b), la mejora genética debería orientarse a lograr la combinación de los efectos de la selección natural en el ambiente local y los de la selección artificial para caracteres agronómicos, especialmente los vinculados al control de la implantación y a la producción de forraje y semillas. En este sentido, además de estudiar la variabilidad de diversos caracteres en esta especie, sería útil conocer las asociaciones que puedan existir entre ellos. Esto sería clave para el diseño estratégico de un plan de mejora.

Según (Falconer & Mackay, 1996), el hecho que existan respuestas correlacionadas permitiría obtener un progreso genético más rápido seleccionando un carácter correlacionado (o secundario) en vez del carácter de interés (o primario). La selección por caracteres secundarios para indirectamente mejorar un carácter primario es una práctica común en la mejora de plantas, especialmente cuando el carácter primario es difícil o costoso de medir (Gallais, 1984; Price & Casler, 2014).

Este procedimiento se denomina selección indirecta (Falconer & Mackay, 1996; Cubero, 2013). Por otra parte, cuando el objetivo es poder predecir el comportamiento de un carácter complejo (ej. producción de biomasa seca aérea, vigor de plántula) a partir de sus posibles componentes (ej. diámetro basal, altura, longitud de lámina, longitud radical) el análisis de regresión múltiple permitirá un estudio más profundo del efecto combinado de los componentes del carácter complejo (Bresciani & Frakes, 1973).

Estudios de asociaciones (correlación o regresión múltiple) entre diversos caracteres se realizaron en otras especies de gramíneas perennes forrajeras. Se han realizado estudios, por ejemplo, en *Trichloris crinita* (Cavagnaro et al., 2006; Gil Báez et al., 2015), *Setaria lachnea* (Exner et al., 2010; Pensiero et al., 2011) (ambas especies nativas de Argentina) y *Elymus elongatus* (Martyniak et al., 2017) (naturalizada en Argentina).

El objetivo de este estudio fue analizar las posibles asociaciones entre caracteres vinculados a la implantación, crecimiento inicial, producción de forraje, y producción y calidad de semillas en cuatro poblaciones nativas espontáneas de *P. vaginatum* de la región semiárida de la provincia de Buenos Aires. La hipótesis es que existen asociaciones entre caracteres de interés agronómico que posibilitarán optimizar los procedimientos de selección mediante selección indirecta en poblaciones espontáneas de *P. vaginatum* de la región semiárida de la provincia de Buenos Aires.

7.2 Materiales y Métodos

Sitios de recolección de las semillas

Semillas de *P. vaginatum* se recolectaron de cuatro poblaciones espontáneas de la región semiárida de la provincia de Buenos Aires en diciembre de 2012. Las ubicaciones geográficas de los sitios de recolección para las poblaciones de la 1 a la 4 se presentan en la Tabla 3.1. La distribución de dichas poblaciones en la región de estudio se presenta en la Fig. 3.1. En la zona de recolección de P1 y P2 la precipitación media anual histórica (1911 a 2011) es de 665,1 mm. La temperatura media anual es de 14,9 °C siendo las medias anuales máximas y mínimas de 21,3 °C y 8 °C. Las temperaturas máximas y mínimas absolutas son 42,5 °C (enero) y -12 °C (julio). La humedad relativa media histórica (1962 a 2011) es 66,25 % (INTA, 2012). El relieve es típicamente una llanura con cobertura de estrato herbáceo. En la zona de recolección de P3 la precipitación media anual histórica (1959 a 2010) es de 648,5 mm. La temperatura media anual es de 15,4 °C siendo las medias anuales máximas y mínimas de 22,8°C y 9°C. Las temperaturas máximas y mínimas absolutas son 43,8 °C (enero) y -11,8 °C (julio). La humedad relativa media histórica (1960 a 2014) es 63,7 % (SMN, 2017). El relieve es una llanura ondulada con lomas arenosas con cobertura de estrato herbáceo y comunidades arbustivas secundarias. En la zona de recolección de P4 la precipitación media anual histórica (1981 – 2016) es de 434,2 mm. La temperatura media anual es de 14,1 °C siendo las medias anuales máximas y mínimas de 20,9 °C y 7,4 °C. Las temperaturas máximas y mínimas absolutas son 42,1 °C (enero) y -8,6 °C (julio). La humedad relativa media histórica (1981 - 2016) es 65,5 % (MA-BA, 2016). El relieve es típicamente una llanura con cobertura de estrato arbustivo abierto y estrato herbáceo.

Procedimientos

El 23/08/2013 se sembraron en bandejas plásticas de 128 celdas (5 cm de altura, 28 cm de ancho y 54 cm de largo) con sustrato mezcla de suelo de la Chacra Experimental Patagones MA-BA con arena (relación 3:1 v/v) 50 cariósides con sus envolturas (glumelas: lemma y pálea) de cada uno de 30 genotipos diferentes de cada población (50 x 30 x 4= 6000 cariósides). El volumen de cada celda fue de 24 cm³. El 27/09/2013 12 plantas de cada uno de 9 genotipos de cada población, obtenidas luego del estudio de emergencia, se trasplantaron a bandejas plásticas de 72 celdas (5 cm de altura, 28 cm de ancho y 54 cm de largo) con el mismo sustrato (suelo de la Chacra Experimental Patagones MA-BA con arena, relación 3:1 v/v). Cada celda tuvo un volumen de 55 cm³. Esto fue conducido a la intemperie en La Plata (34°56'13" S, 57°56'41" O) en condiciones semi-controladas (sin incidencia de las precipitaciones) manteniendo riego para evitar déficit hídrico (las bandejas plásticas se registraron diariamente y el riego se aplicó procurando que el volumen de tierra de cada celda estuviera siempre saturado de humedad). El riego se detuvo cada vez que comenzó a salir agua gravitacional del fondo de la celda. La humedad (%) y temperatura media, y temperaturas medias máximas y mínimas del aire ± error estándar durante este periodo realizado en La Plata (23/8/2013-25/10/2013) fueron 81,8 % ± 0,6; 13,2 °C ± 0,6; 18,7 °C ± 0,6 y 8,2 °C ± 0,6; respectivamente (FCAyF-EEJH, 2013). El 25/10/2013 las 6 plantas de cada uno de los 9 genotipos (líneas puras) de cada población (6 plantas x 9 genotipos x 4 poblaciones x 2 repeticiones= 432 plantas) se trasplantaron a un ensayo de campo (0,5 m entre genotipos/filas x 0,25 m entre plantas dentro de cada fila) con un diseño experimental de bloques completos al azar (n=2) en la Chacra Experimental Patagones MA-BA (40° 39' S; 62° 54' O) (Fig. 2.2). Para asegurar la supervivencia de las plantas, se aplicó un riego (hasta inundar cada surco) al inicio de cada mes (diciembre, enero febrero) durante el primer verano. El estudio finalizó el 06/06/2016 (reposo invernal luego de los estudios efectuados desde la implantación). Durante el período estudiado se registraron y determinaron caracteres vinculados a la implantación y crecimiento inicial, a la producción de biomasa aérea y a la producción y calidad semillas. Para el estudio de la producción de biomasa seca aérea se realizaron cuatro cortes (C1: 25/5/2015; C2: 26/11/2015; C3: 29/02/2016; C4: 06/06/2016) durante el primer período de aprovechamiento después de la implantación. En cada momento de corte se cortaron todas las plantas. Cada planta se cortó a 5 cm de altura, se colocó en sobre de papel, se secó en estufa (6 días a 60 °C) y se pesó (g MS/planta). Entre los parámetros medidos para el estudio de la producción y calidad de semillas se calculó el número de antecios germinables por planta (AG). Este valor se obtuvo ajustando el número de antecios por planta (AP) por el porcentaje de germinación acumulada obtenido en un ensayo de laboratorio realizado en septiembre de 2016 con los antecios cosechados el 05/01/2016 del ensayo de campo. Dicho ensayo tuvo un diseño experimental completamente aleatorizado (n=6) y la unidad experimental fue una caja de Petri (9 cm de diámetro) con 50 cariósides. Las cariósides fueron colocadas con sus envolturas (glumelas: lemma y pálea) sobre papel de filtro humedecido para su germinación, en condiciones de fluctuación de luz natural del laboratorio [12 h luz/12 h oscuridad; intensidad lumínica (PAR) promedio 10,2 ± 1,04 μmol m⁻² seg⁻¹ (media ± 1 EE)]. Luego de 24 h de imbibición, y cada 24 h durante todos los días que duró el ensayo, se registró el número de cariósides germinadas (radícula ≥ 3mm) y controló que el papel de filtro estuviera humedecido. El ensayo finalizó luego de cuatro días consecutivos sin germinación (desde el día 18 al 22 desde la imbibición). Se determinaron (1) el porcentaje de germinación acumulada, (2) el índice de velocidad de germinación, y (3)

el tiempo hasta 50 % de germinación acumulada. La temperatura se registró con un termómetro digital modelo ThermoMeter TA318. El rango de temperaturas en el laboratorio durante el desarrollo del estudio fluctuó entre 24 °C y 17,1 °C. Las temperaturas medias máximas y mínimas \pm error estándar fueron 22,9 °C \pm 0,44 y 20,1 °C \pm 0,44, respectivamente. Dichas temperaturas estuvieron dentro del rango de temperaturas medias mensuales del aire medidas cerca de las parcelas de campo durante la etapa reproductiva de *P. vaginatum* (Fig. 2.3) (ver Cap.6; Fig. 6.1). En la Tabla 7.1 se presentan detalles de las fechas de muestreo y de los caracteres estudiados.

Análisis estadístico

Las posibles asociaciones entre los caracteres se estudiaron mediante correlaciones (coeficiente de Pearson) y regresión múltiple (proceso de selección paso a paso hacia adelante). Además, se realizaron comparaciones de modelos de regresión simple aplicando variables “dummy”. Todos los análisis estadísticos se realizaron usando el programa Statgraphics Centurion XVI versión 16.1.18 (32-bits) (StatPoint Technologies, Inc, 2012).

Tabla 7.1. Detalle de las fechas de muestreo y de los caracteres estudiados.

Fecha de muestreo (n°)	Estadio fenológico Predominante	Abreviatura del carácter	Descripción
10/12/2013 (1)	Botón floral	MRT (1)	-se contó el n° de Macollas Reproductivas Totales por planta
17/09/2014 (3)	Inicio de crecimiento vegetativo (fin reposo invernal)	Db MHV LL	-se midió el diámetro basal por planta (cm) -se contó el n° de macollas con hojas verdes por planta -se midió la longitud de la lámina más larga por planta (cm)
5/11/2014 (4)	Botón floral	A	-se midió la altura por planta desde la superficie del suelo hasta el extremo de la hoja más larga sosteniéndola verticalmente (cm)
16/12/2014 (5)	Grano maduro; grano inmaduro; botón floral	MRT (5) AP (5) LP (5) Apl (5)	-se contó el n° de macollas reproductivas por planta -se determinó el n° de antecios por panoja por planta (promedio de 2 panojas por planta) -se determinó la longitud de panoja por planta (cm) (promedio de 5 panojas por planta) -se calculó el n° de antecios por planta (MRT x AP)
05/01/2016 (8)	Grano maduro, grano inmaduro; dispersión semillas	MRT (8) AP (8) LP (8) Apl (8) AG MS MST	-ver descripción fecha (5) -ver descripción fecha (5) -ver descripción fecha (5) -ver descripción fecha (5) -se calculó el número de antecios germinables por planta: valor Apl ajustado por el porcentaje de germinación acumulada obtenido de un ensayo de laboratorio luego de la cosecha (ver Mat.y Met. pg. 94 y Fig. 6.29) -se calculó la producción parcial acumulada de biomasa seca aérea por planta (g M / planta / C1+C2) -se calculó la producción total acumulada de biomasa seca aérea por planta (g MS / planta / C1+C2+C3+C4).

7.3 Resultados

Asociaciones entre caracteres

Coefficiente de correlación de Pearson

Los resultados del análisis de correlación de Pearson entre caracteres vegetativos asociados a la implantación, precocidad de crecimiento y producción de biomasa (diámetro basal, número de macollas con hojas verdes por planta, longitud de la lámina más larga por planta, altura de planta y biomasa seca aérea parcial y total acumulada por planta) mostraron para todas las poblaciones una correlación significativa y positiva. Las únicas excepciones se presentaron en P2 donde tanto el diámetro basal como la biomasa seca aérea (parcial y total) acumulada por planta mostraron independencia del número de macollas con hojas verdes por planta y de la longitud de la lámina más larga por planta (Tabla 7.2). Por otra parte, el carácter reproductivo número de macollas reproductivas totales por planta registrado en la fecha de muestreo (1) como indicador de crecimiento inicial, presentó correlación positiva y significativa con el diámetro basal en todas las poblaciones y con la altura de planta y el número de macollas con hojas verdes por planta en P2 y P3, respectivamente. Además, también se observó correlación positiva y significativa de dicho carácter con la producción de biomasa seca aérea por planta en P3 y P4 (Tabla 7.2).

Entre los caracteres reproductivos (número de macollas reproductivas totales, longitud de panoja y número de antecios por panoja por planta), tanto registrados en la fecha de muestreo (5) (10/12/2014: inicio de fructificación en el 2do año) como en la fecha de muestreo (8) (05/01/2016: plena fructificación en el 3er año), los resultados mostraron una correlación significativa y positiva en todas las poblaciones y en ambas fechas. Las únicas excepciones se presentaron en P2 en la fecha (5) y en P3 en la fecha (8) donde el número de macollas reproductivas totales por planta resultó independiente de la longitud de panoja por planta y del número de antecios por panoja por planta, respectivamente (Tabla 7.3).

Con respecto a los caracteres reproductivos registrados en la fecha de muestreo (5) vs. caracteres vegetativos (asociados a la implantación y precocidad de crecimiento) se observó que en P1 y P3 hubo una correlación significativa y positiva (Tabla 7.4). En P4 en general el resultado fue similar aunque tuvo excepciones, ya que tanto el número de macollas reproductivas totales por planta como el número de antecios por planta resultaron independientes de la longitud de la lámina más larga por planta, y el número de antecios por panoja por planta fue independiente del diámetro basal (Tabla 7.4). En P2, se observó que los caracteres reproductivos estudiados presentaron correlación significativa y positiva sólo con los caracteres vegetativos altura de planta y diámetro basal, aunque una excepción fue el número de antecios por panoja por planta que resultó independiente del diámetro basal (Tabla 7.4). Además, la longitud de panoja por planta y el número de antecios por panoja por planta también presentaron correlación significativa y positiva con la longitud de la lámina más larga por planta ($p \leq 0,05$), aunque ambos caracteres reproductivos fueron independientes del número de macollas con hojas verdes por planta (Tabla 7.4). Por su parte, el carácter número de macollas reproductivas totales por planta registrado en la fecha de muestreo (1) sólo presentó correlación positiva y significativa con el número de macollas reproductivas totales por planta y con el número de antecios por planta para todas las poblaciones. En P2, además dicho carácter también presentó correlación positiva y significativa con la longitud de panoja por planta (Tabla 7.4).

Las correlaciones entre caracteres reproductivos registrados en la fecha de muestreo (8) vs. caracteres vegetativos (asociados a la implantación, precocidad de crecimiento y producción de biomasa), fueron significativas y positivas en la P1, aunque tanto el número de macollas reproductivas totales por planta como el número de antecios germinables por planta mostraron independencia de la longitud de la lámina más larga por planta (Tabla 7.5). En P2, P3 y P4 en general hubo correlación positiva y significativa de los caracteres reproductivos con el diámetro basal, la altura de planta y la biomasa seca aérea parcial acumulada por planta (Tabla 7.5). En P4, el número de macollas reproductivas totales por planta fue independiente de la altura de planta, de la longitud de la lámina más larga por planta y del número de macollas con hojas verdes por planta. Al mismo tiempo, el número de antecios germinables por planta fue independiente del número de macollas con hojas verdes por planta y de la longitud de la lámina más larga por planta (Tabla 7.5). En P3, el número de macollas reproductivas totales por planta resultó independiente de la altura de planta, de la longitud de la lámina más larga por planta y del número de macollas con hojas verdes por planta, y el número de antecios por panoja del número de macollas con hojas verdes por planta (Tabla 7.5). Además, en P3 también se observó correlación positiva y significativa de la longitud de panoja, del número de antecios por panoja y del número de antecios germinables por planta con la longitud de la lámina más larga por planta, y de la longitud de panoja por planta y el número de antecios germinables por planta con el número de macollas con hojas verdes por planta. En P4, todos los caracteres reproductivos resultaron independientes de estos dos caracteres vegetativos (número de macollas con hojas verdes por planta y longitud de la lámina más larga por planta). Por su parte, el carácter número de macollas reproductivas totales por planta registrado en la fecha de muestreo (1) sólo presentó correlación positiva y significativa en tres de las cuatro poblaciones con el carácter reproductivo número de macollas reproductivas totales por planta (Tabla 7.5). Además, en la P3 también presentó correlación positiva y significativa con el número de antecios germinables por planta (Tabla 7.5).

Tabla 7.2. Correlaciones entre caracteres asociados a la implantación, precocidad de crecimiento y producción de biomasa en cuatro poblaciones (P1: n= 98; P2: n= 101; P3: n= 102 y P4: n= 98) de *P. vaginatum*. Coeficiente de correlación de Pearson.

	Db	MHV	LL	A	MRT(1)	Db	MHV	LL	A	MRT(1)
	P1					P2				
MHV	0,37**					0,19ns				
LL	0,27**	0,51**				0,13ns	0,65**			
A	0,30**	0,49**	0,50**			0,48**	0,21*	0,30**		
MS	0,45**	0,35**	0,31**	0,50**	0,11ns	0,39**	0,06ns	0,17ns	0,58**	0,13ns
MST	0,47**	0,35**	0,25*	0,44**	0,16ns	0,38**	0,09ns	0,12ns	0,47**	0,09ns
MRT(1)	0,38**	0,1ns	0,1ns	0,1ns		0,45**	0,12ns	0,09ns	0,33**	
	P3					P4				
MHV	0,48**					0,48**				
LL	0,32**	0,23*				0,29**	0,35**			
A	0,47**	0,25**	0,53**			0,38**	0,32**	0,40**		
MS	0,49**	0,34**	0,41**	0,62**	0,21*	0,45**	0,36**	0,27**	0,65**	0,12ns
MST	0,48**	0,33**	0,36**	0,59**	0,22*	0,49**	0,33**	0,22*	0,54**	0,21*
MRT(1)	0,33**	0,28**	0,01ns	0,05ns		0,36**	0,12ns	-0,1ns	0,04ns	

ns: no significativo; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$

Db: diámetro basal; MHV: número de macollas con hojas verdes por planta; LL: longitud de la lámina más larga por planta; A: altura de planta; MRT(1): número de macollas reproductivas totales por planta registrados en la fecha de muestreo (1); MS: biomasa seca aérea parcial acumulada por planta; MST: biomasa seca aérea total acumulada por planta.

Tabla 7.3. Correlaciones entre tres caracteres reproductivos registrados en la fecha de muestreo (5) (10/12/2014: inicio de fructificación en el 2do año) y entre los mismos tres caracteres pero registrados en la fecha de muestreo (8) (05/01/2016: plena fructificación en el 3er año) en plantas de cuatro poblaciones [P1(1): n= 102; P2 (1): n= 101; P3 (1) y P4 (1): n= 103; P1 (2): n= 104; P2 (2) y P4 (2): n= 102; P3 (2): n= 100] de *P. vaginatum*. Coeficiente de correlación de Pearson.

	MRT	LP	AP	MRT	LP	AP
	P1			P2		
MRT		0,40** (8)	0,45** (8)		0,45** (8)	0,45** (8)
LP	0,46** (5)		0,87** (8)	0,06ns (5)		0,74** (8)
AP	0,30** (5)	0,73** (5)		0,28** (5)	0,66** (5)	
	P3			P4		
MRT		0,30** (8)	0,19ns (8)		0,24* (8)	0,20* (8)
LP	0,30** (5)		0,80** (8)	0,25** (5)		0,67** (8)
AP	0,36** (5)	0,81** (5)		0,19* (5)	0,76** (5)	

ns: no significativo; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$; (5): fecha de muestreo 5; (8) fecha de muestreo 8.

MRT: número de macollas reproductivas totales por planta; LP: longitud de panoja por planta; AP: número de antecios por panoja por planta.

Tabla 7.4. Correlaciones entre caracteres reproductivos registrados en la fecha de muestreo (5) (10/12/2014: inicio de fructificación en el 2do año) vs. caracteres asociados a la implantación y precocidad de crecimiento [fechas de muestreo: (1) 10/12/2013; (3) 17/09/2014; y (4) 05/11/2014] de plantas de cuatro poblaciones (P1: n=98; P2: n= 100; P3: n= 102; P4: n= 97) de *P. vaginatum*. Coeficiente de correlación de Pearson.

	MRT	LP	AP	Apl	MRT	LP	AP	Apl
	P1				P2			
Db	0,48**	0,23*	0,30**	0,51**	0,52**	0,20*	0,16ns	0,45**
MHV	0,35**	0,48**	0,38**	0,44**	0,00ns	0,07ns	0,06ns	-0,00ns
LL	0,41**	0,45**	0,23*	0,40**	0,02ns	0,23*	0,22*	0,10ns
A	0,46**	0,56**	0,49**	0,57**	0,56**	0,37**	0,38**	0,54**
MRT(1)	0,33**	0,16ns	0,14ns	0,31**	0,31**	0,21*	0,18ns	0,28**
	P3				P4			
Db	0,58**	0,30**	0,35**	0,57**	0,50**	0,23*	0,11ns	0,43**
MHV	0,35**	0,28**	0,32**	0,42**	0,41**	0,26**	0,22*	0,44**
LL	0,30**	0,46**	0,38**	0,36**	0,02ns	0,36**	0,28**	0,17ns
A	0,42**	0,62**	0,53**	0,49**	0,33**	0,52**	0,45**	0,43**
MRT(1)	0,43**	0,02ns	0,04ns	0,36**	0,34**	0,03ns	-0,06ns	0,21*

ns: no significativo; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$

Db: diámetro basal; MHV: número de macollas con hojas verdes por planta; LL: longitud de la lámina más larga por planta; A: altura de planta; MRT(1): número de macollas reproductivas totales por planta registrados en la fecha de muestreo (1); MRT: número de macollas reproductivas totales por planta; LP: longitud de panoja por planta; AP: número de antecios por panoja por planta; Apl: número de antecios por planta.

Tabla 7.5. Correlaciones entre caracteres reproductivos registrados en la fecha de muestreo (8) (05/01/2016: plena fructificación en el 3er año) vs. caracteres asociados a la implantación, precocidad de crecimiento y producción de biomasa, de plantas de cuatro poblaciones (P1: n=98; P2: n= 101; P3: n= 97; P4: n= 97) de *P. vaginatum*. Coeficiente de correlación de Pearson.

	MRT	LP	AP	AG	MRT	LP	AP	AG
	P1				P2			
Db	0,34**	0,27**	0,37**	0,41**	0,31**	0,20*	0,25*	0,34**
MHV	0,20*	0,37**	0,31**	0,30**	-0,17ns	0,05ns	0,10ns	-0,09ns
LL	0,07ns	0,21*	0,20*	0,12ns	-0,15ns	0,16ns	0,11ns	-0,08ns
A	0,20*	0,45**	0,50**	0,35**	0,20*	0,38**	0,41**	0,29**
MS	0,70**	0,54**	0,59**	0,78**	0,52**	0,50**	0,68**	0,69**
MRT(1)	0,21*	-0,02ns	0,02ns	0,15ns	0,07ns	0,05ns	0,19ns	0,1ns
	P3				P4			
Db	0,30**	0,29**	0,20*	0,33**	0,24*	0,20*	0,10ns	0,23*
MHV	0,19ns	0,28**	0,18ns	0,23*	0,07ns	-0,06ns	0,09ns	0,12ns
LL	0,13ns	0,39**	0,43**	0,33**	-0,12ns	0,19ns	0,15ns	0,06ns
A	0,11ns	0,51**	0,53**	0,39**	0,15ns	0,35**	0,28**	0,22*
MS	0,59**	0,64**	0,62**	0,78**	0,42**	0,42**	0,40**	0,54**
MRT(1)	0,35**	-0,00ns	-0,02ns	0,23*	0,22*	0,00ns	-0,12ns	0,06ns

ns: no significativo; *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$

Db: diámetro basal; MHV: número de macollas con hojas verdes por planta; LL: longitud de la lámina más larga por planta; A: altura de planta; MS: biomasa seca aérea parcial acumulada por planta; MRT(1): número de macollas reproductivas totales por planta registrados en la fecha de muestreo (1); MRT: número de macollas reproductivas totales por planta; LP: longitud de panoja por planta; AP: número de antecios por panoja por planta; AG: número de antecios germinables por planta.

Análisis de regresión múltiple

El análisis de regresión múltiple (proceso de selección paso a paso hacia adelante) de caracteres asociados a la implantación y precocidad de crecimiento sobre la biomasa seca aérea total acumulada por planta resultó significativo ($p \leq 0,01$) para todas las poblaciones (Tabla 7.6). La comparación de los modelos de regresión simple (variables dummy) de la altura de planta sobre la biomasa seca aérea total acumulada por planta entre las poblaciones con menor (P2) y mayor (P3) valor de ordenada no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) (Fig. 7.1).

El análisis de regresión múltiple para caracteres asociados a la implantación y precocidad de crecimiento sobre el número de antecios por planta determinado tanto en la fecha de muestreo (5) (16/12/2014: inicio de fructificación en el 2do año) como en la fecha de muestreo (8) (05/01/2016: plena fructificación en el 3er año), también resultó significativo ($p \leq 0,01$) para todas las poblaciones (Tabla 7.7). Así, la comparación de los modelos de regresión simple (variables dummy) de la altura de planta sobre el número de antecios por planta entre las poblaciones con menor (P3) y mayor (P4) valor de ordenada no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) para la fecha de muestreo (5) aunque si hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para la fecha de muestreo (8) (Fig. 7.2).

Por otra parte, para la fecha de muestreo (8) también se realizó otro análisis de regresión múltiple (proceso de selección paso a paso hacia adelante), pero con el

número de antecios germinables por planta como variable dependiente e incorporando como variable independiente la biomasa seca aérea parcial acumulada, que también resultó significativo ($p \leq 0,01$) para todas las poblaciones (Tabla 7.8). En este caso también se observaron diferencias significativas ($p \leq 0,01$) entre los modelos de regresión simple (variables dummy) de la biomasa seca aérea parcial acumulada por planta sobre el número de antecios germinables por planta de las poblaciones con menor (P3) y mayor (P4) valor de ordenada (Fig. 7.3).

Tabla 7.6. Análisis de regresión múltiple (proceso de selección paso a paso hacia adelante) de caracteres asociados a la implantación y precocidad de crecimiento sobre la biomasa seca aérea total acumulada por planta en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*.

Población	Carácter	n	R ² (%)	Ecuación de regresión
P1	Db	99	22,6	MST = 2,38 + 9,1 Db
	Db + A		32,4	MST = -19,58 + 7,17 Db + 1,43 A
P2	A	100	22,8	MST = 2,13 + 1,9 A
	A + Db		26	MST = -2,21 + 3,57 Db + 1,51 A
P3	A	102	34,7	MST = -18,69 + 2,85 A
	A + Db		40,1	MST = -23,64 + 4,9 Db + 2,26 A
P4	A	98	29,7	MST = -2,5 + 1,88 A
	A + Db		39	MST = -12 + 5 Db + 1,42 A

$p \leq 0,05$

Db: diámetro basal; A: altura; MST: biomasa seca aérea total acumulada por planta

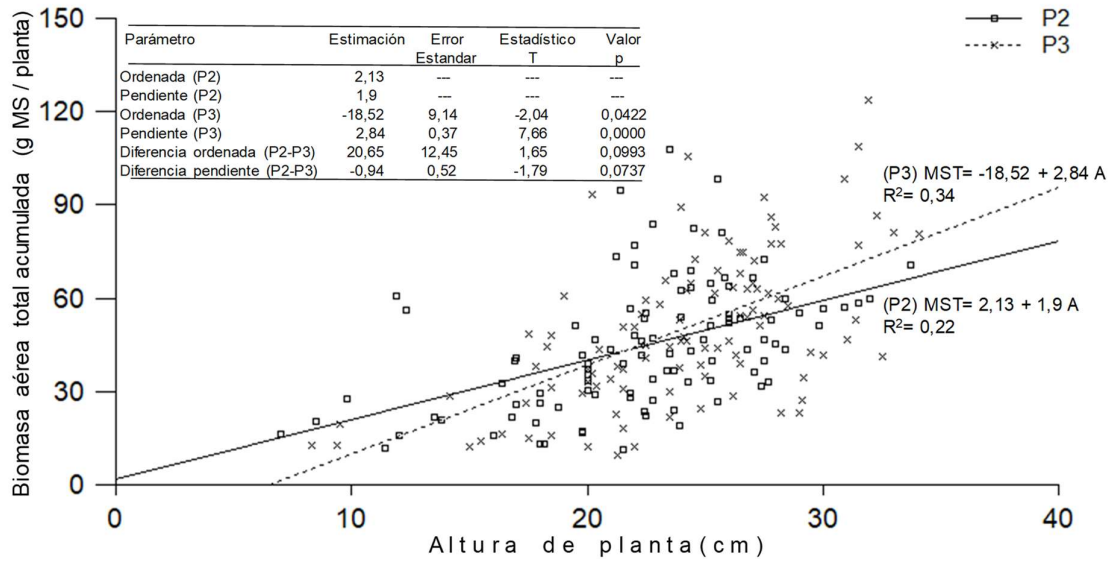


Figura 7.1. Comparación de las rectas de regresión (variables dummy) de la altura de planta (A) sobre la biomasa seca aérea total acumulada por planta (MST) de las poblaciones de *P. vaginatum* con menor (P3) y mayor (P2) valor de ordenada. Se muestran los valores individuales.

Tabla 7.7. Análisis de regresión múltiple (proceso de selección paso a paso hacia adelante) de caracteres asociados a la implantación y precocidad de crecimiento sobre el número de antecios por planta determinado en las fechas de muestreo (5) (10/12/2014: inicio de fructificación en el 2do año) y (8) (05/01/2016: plena fructificación en el 3er año), en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*.

Población (n° fecha)	Carácter	n	R ² (%)	Ecuación de regresión
P1 (5)	A	97	32,9	Apl = -464,8 + 62,3 A
	A + Db		45,5	Apl = -884,6 + 50 A + 178,3 Db
P1 (8)	Db	97	17,1	Apl = 256,8 + 446,2 Db
	Db + A		23	Apl = -702,1 + 362 Db + 62,5 A
P2 (5)	A	99	29,7	Apl = -571,5 + 69,4 A
	A + Db		34	Apl = -710 + 54,4 A + 129,8 Db
	A + Db + MHV		36,8	Apl = -665,8 + 59 A + 138,6 Db + 52,8 MHV
P2 (8)	Db	98	11,7	Apl = 859,8 + 381,5 Db
P3 (5)	Db	101	33,1	Apl = -211,8 + 330,8 Db
	Db + A		39,4	Apl = -917,8 + 252,5 Db + 42, 2 A
	Db + A + MRT(1)		44	Apl = -1304,4 + 200 Db + 47 A + 36,8 MRT(1)
P3 (8)	A	97	15,4	Apl = 30,8 + 110,4 A
	A + MRT(1)		20	Apl = -772 + 107 A + 66,8 MRT(1)
P4 (5)	MHV	96	19,6	Apl = 374,8 + 113,8 MHV
	MHV + A		29,1	Apl = -496,3 + 86 MHV + 42 A
P4 (8)	Db	96	5,4	Apl = 1004,6 + 188,3 Db

p ≤ 0,01

Db: diámetro basal; MHV: número de macollas con hojas verdes por planta;
A: altura de planta; MRT(1): número de macollas reproductivas totales por planta
registrados en la fecha de muestreo (1); Apl: número de antecios por planta

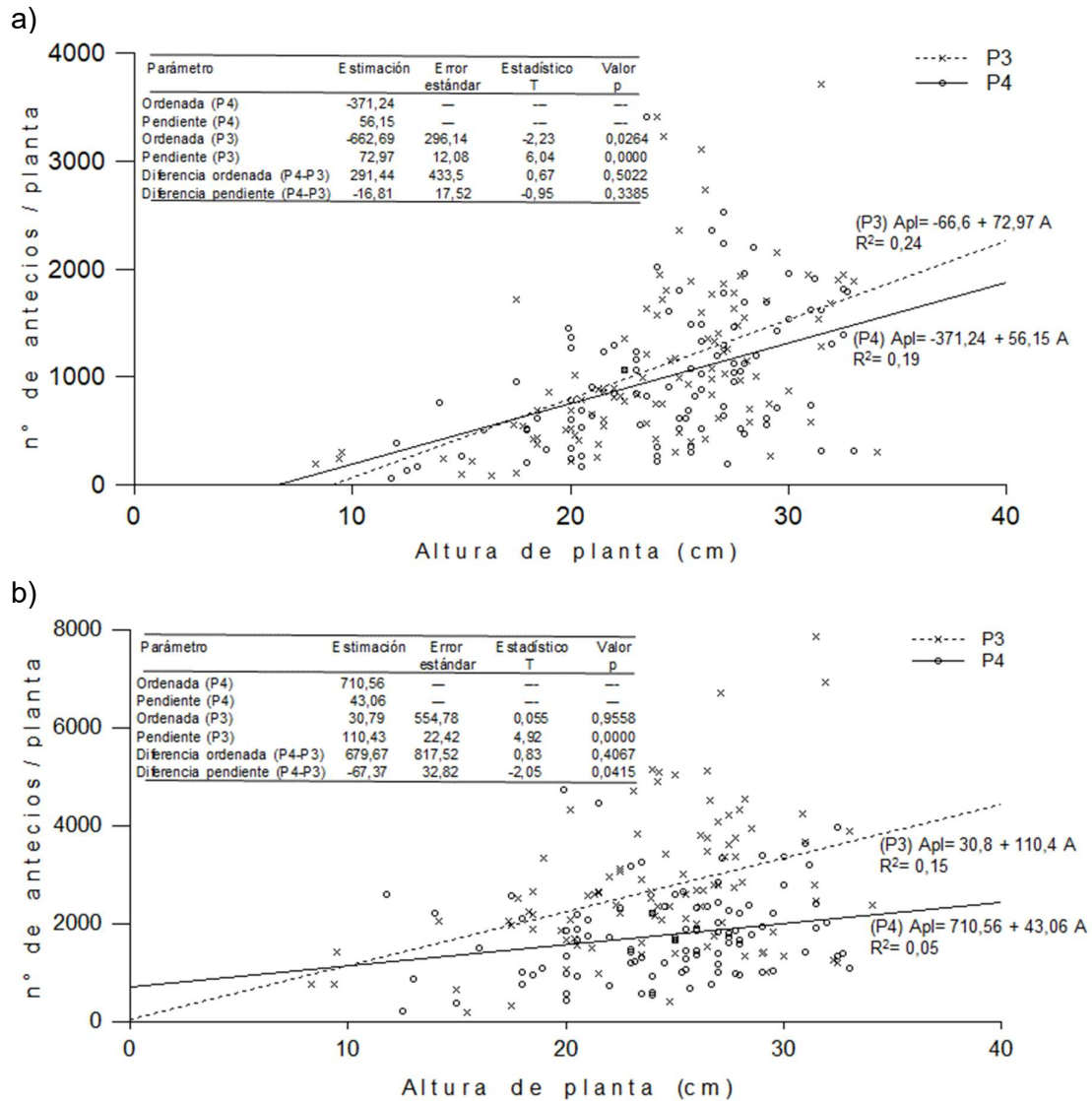


Figura 7.2. Comparación de las rectas de regresión (variables dummy) de la altura de planta (A) sobre el número de antecios por planta (Apl) determinado en dos fechas de muestreo: a) fecha (5) (16/12/2014: inicio de fructificación en el 2do año); b) fecha (8) (05/01/2016: plena fructificación en el 3er año), de las poblaciones de *P. vaginatum* con menor (P3) y mayor (P4) valor de ordenada. Se muestran los valores individuales.

Tabla 7.8. Análisis de regresión múltiple (proceso de selección paso a paso hacia adelante) de caracteres asociados a la implantación, precocidad de crecimiento y producción de biomasa sobre el número de antecios germinables por planta determinado en la fecha de muestreo (8) (05/01/2016: plena fructificación en el 3er año) en cuatro poblaciones (P1, P2, P3, P4) de *P. vaginatum*.

Población	Carácter	n	R ² (%)	Ecuación de regresión
P1	MS	97	61,5	AG = 344,4 + 64,6 MS
	MS + LL		63	AG = 512 + 68 MS - 40,8 LL
P2	MS	100	48,5	AG = 312,1 + 54,7 MS
	MS + LL		53,1	AG = 575,7 + 58,2 MS - 59,4 LL
P3	MS	96	62,2	AG = 278 + 51,5 MS
P4	MS	96	30	AG = 486,9 + 31,2 MS

p ≤ 0,01

LL: longitud de la lámina más larga por planta; MS: biomasa seca aérea parcial acumulada por planta; AG: número de antecios germinables por planta

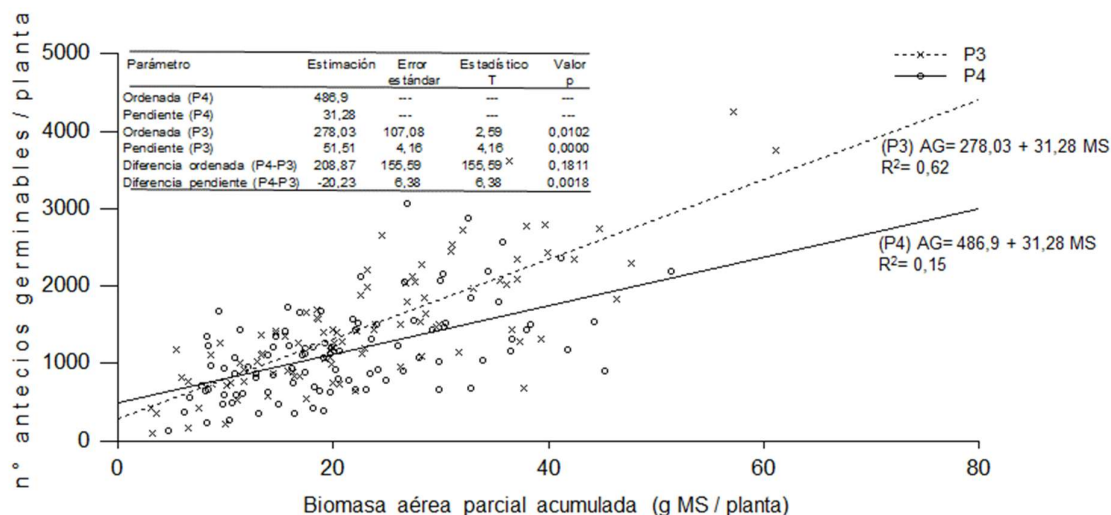


Figura 7.3. Comparación de las rectas de regresión (variables dummy) de la biomasa seca aérea parcial acumulada por planta (MS) sobre el número de antecios germinables por planta (AG) determinado en la fecha de muestreo (8) (05/01/2016: plena fructificación en el 3er año) de las poblaciones de *P. vaginatum* con menor (P3) y mayor (P4) valor de ordenada. Se muestran los valores individuales.

7.4 Discusión

Asociaciones entre caracteres

-Coeficiente de correlación de Pearson

La selección por caracteres secundarios para indirectamente mejorar un carácter primario es una práctica común en la mejora de plantas, especialmente cuando el carácter primario es difícil o costoso de medir (Gallais, 1984; Price & Casler, 2014). Este procedimiento se denomina selección indirecta (Falconer & Mackay, 1996; Cubero, 2013). El estudio de las respuestas correlacionadas sugiere que se podría obtener un progreso genético más rápido seleccionando un carácter correlacionado (o secundario) en vez del carácter de interés (o primario) (Falconer & Mackay, 1996). En el presente estudio se observó que en general las poblaciones (excepto P2) presentaron correlación significativa y positiva entre los caracteres vegetativos estudiados asociados a la implantación, precocidad de crecimiento y producción de biomasa. Esto permite inferir que la producción de biomasa seca aérea por planta podría ser mejorada mediante selección indirecta a través de un conjunto de caracteres precoces de fácil medición como el diámetro basal, la altura de planta, el número de macollas con hojas verdes y la longitud de la lámina más larga por planta. Sin embargo, habría que tener en cuenta posibles diferencias en el patrón de correlaciones entre poblaciones ya que, por ejemplo, en este estudio para P2 se observó independencia entre dos de los caracteres precoces (número de macollas con hojas verdes y longitud de la lámina más larga) y la biomasa seca aérea por planta. No obstante, dichos caracteres o tuvieron correlación significativa y positiva, o fueron independientes de los demás caracteres precoces (diámetro basal y altura de planta), que estuvieron correlacionados significativamente con la producción de biomasa seca aérea.

En cuanto a los caracteres reproductivos, en general se observó una correlación significativa y positiva entre ellos para todas las poblaciones y en ambas fechas de

muestreo. A su vez, se destaca que todas las poblaciones presentaron correlación significativa y positiva del número de antecios por planta [fecha de muestreo (5)] y del número de antecios germinables por planta [fecha de muestreo (8)] con los caracteres vegetativos precoces diámetro basal y altura de planta. Por su parte, el número de macollas reproductivas registrado en la fecha de muestreo (1) (carácter más precoz registrado) tuvo una importancia relativa ya que presentó correlación significativa y positiva con la producción de antecios sólo en la fecha de muestreo (5) para todas las poblaciones y con coeficientes de correlación más bajos que los caracteres precoces vegetativos. Por otra parte, se observó que dicho carácter tuvo correlación positiva y significativa con la producción de biomasa seca aérea en dos poblaciones, aunque también con coeficientes de correlación bajos. Al igual que lo inferido en el párrafo anterior para la biomasa, la producción de antecios por planta también podría ser mejorada mediante selección indirecta a través de un par de caracteres precoces de fácil medición como el diámetro basal y la altura, con la ventaja de que en este caso no hubo diferencias en el patrón de correlaciones entre las poblaciones. Así, las correlaciones encontradas permitirían entonces seleccionar de manera más precoz, y por simple observación fenotípica, caracteres secundarios para indirectamente mejorar caracteres complejos como la producción de biomasa seca aérea y la producción de semillas en las poblaciones estudiadas. No obstante, en futuros estudios sería interesante evaluar las correlaciones genéticas ya que en ensayos a campo la influencia del ambiente puede generar distorsión en las correlaciones fenotípicas, especialmente en variables de interés vegetativo.

Según Gallais (1984) si bien la selección indirecta es menos eficiente en términos de avance genético, el hecho de poder seleccionar desde etapas tempranas gran cantidad de material, y de manera fácil y barata, justifican su implementación. Además, Gallais (1984) plantea que dadas ciertas condiciones es posible compensar esta ineficiencia en la ganancia genética aplicando mayor presión de selección. Cavagnaro et al. (2006) y Gil Báez et al. (2015) en estudios en poblaciones de *Trichloris crinita* también encontraron correlación significativa y positiva entre caracteres vegetativos (altura de planta, diámetro basal, número de macollas vegetativas) y de producción de biomasa (materia seca aérea por planta) y semillas (número de panojas) aunque no informan si hubo variabilidad en este patrón de correlaciones entre las poblaciones. Pensiero et al. (2011) en un estudio en poblaciones de *Setaria lachnea* encontraron correlación significativa pero negativa o independencia entre caracteres vegetativos (altura de planta, longitud y ancho de lámina) y reproductivos (porcentaje de flores con fruto), y tampoco informaron acerca de la variabilidad en el patrón de correlaciones. Por su parte, Exner et al. (2010) en un estudio de caracteres reproductivos (panojas totales, inicio de floración y porcentaje de fructificación) en la misma especie, encontraron correlación significativa y negativa o independencia según el caso e informaron diferencias interpoblacionales en el patrón de correlaciones para dichos caracteres.

-Análisis de regresión

Cuando el objetivo es predecir el rendimiento a partir de sus posibles componentes, el análisis de regresión múltiple permite un estudio más profundo (en comparación al análisis de correlación) del efecto combinado de los componentes sobre el rendimiento (Bresciani & Frakes, 1973). Mientras en el análisis de correlación se mide el nivel de asociación entre variables sin unidades físicas y sin especificar cuál es la causa y cuál la consecuencia, el análisis de regresión tiene unidades físicas e implica relación causa-efecto (Gomez & Gomez, 1984). En este estudio, del análisis de

regresión múltiple se observó que los caracteres significativos ($p \leq 0,05$) para explicar la variabilidad de la biomasa seca aérea total acumulada por planta fueron el diámetro basal y la altura de la planta. Estos caracteres, según la población, explicaron entre un 26 y un 40,1 % de dicha variabilidad (Tabla 7.6). Esto coincide en parte con lo informado por Martyniak et al. (2017) quienes determinaron en un estudio en *Elymus elongatus* que la altura de planta fue uno de los predictores de la materia seca por planta dentro de un modelo de regresión múltiple, aunque no informaron acerca del diámetro basal. Además, la altura de planta individualmente fue el carácter que, en promedio, explicó el mayor porcentaje de esta variabilidad (24,5 %). Entonces, se compararon las rectas de regresión de altura de planta sobre la biomasa seca aérea total acumulada por planta de las poblaciones con menor y mayor valor de ordenada y se observó que no hubo diferencias ($p > 0,05$) (Fig. 7.1). Esto permite inferir que no hay variabilidad entre las poblaciones para esta relación funcional por lo que se podría asumir un único modelo de regresión simple para predecir la producción de biomasa seca aérea total acumulada por planta para todas las poblaciones.

Por otra parte, se observó que los caracteres significativos ($p \leq 0,05$) para explicar la variabilidad del número de antecios por planta fueron: el diámetro basal, la altura de planta, el número de macollas con hojas verdes por planta y el número de macollas reproductivas totales por planta registrados en la fecha de muestreo (1). Así, para la fecha de muestreo (5) combinaciones de estos caracteres explicaron, según la población, entre un 29,1 y un 45,5 % de la variabilidad del número de antecios por planta; mientras que para la fecha de muestreo (8) dichos caracteres (en combinaciones o individualmente) explicaron, según la población, entre un 5,4 y un 23 % de la variabilidad del número de antecios por planta (Tabla 7.7). Se destaca que el porcentaje de variabilidad del número de antecios por planta explicado por los caracteres precoces analizados disminuyó en promedio un 62 % del segundo al tercer año [fechas de muestreo (5) y (8), respectivamente] por lo que tal vez esta relación sólo sea útil en el corto plazo. Además, se observó que para la fecha de muestreo (5), en promedio, la altura de planta individualmente fue el carácter que explicó el mayor porcentaje de dicha variabilidad (19,6 %). Entonces, se compararon las rectas de regresión de altura de planta sobre el número de antecios por planta entre las poblaciones con menor y mayor valor de ordenada y se observó que no hubo diferencias ($p > 0,05$) (Fig. 7.2). Esto permite inferir que no hay variabilidad entre las poblaciones para esta relación funcional por lo que se podría asumir un único modelo de regresión simple para predecir el número de antecios por planta para todas las poblaciones. Por su parte, en la fecha de muestreo (8) la altura de planta sólo explicó variabilidad en el número de antecios por planta en P1 y P3 (5,9 y 15,4 %, respectivamente).

Finalmente, se realizó otro análisis de regresión múltiple para la fecha de muestreo (8) en el cual la variable dependiente fue el número de antecios germinables por planta y a las variables independientes se incorporó la biomasa seca aérea parcial acumulada por planta. Así, se observó que este último carácter explicó entre un 30 y un 62,2 % de la variabilidad del número de antecios germinables por planta y que desplazó a casi todos los demás caracteres de los modelos de regresión (Tabla 7.8). Esto evidenció la gran influencia de la acumulación de biomasa seca aérea sobre la producción de antecios germinables. También se compararon las rectas de regresión de biomasa seca aérea parcial acumulada por planta sobre el número de antecios germinables por planta entre las poblaciones con menor y mayor valor de ordenada y se observó que hubo diferencias ($p \leq 0,01$). Esto permite inferir que hay variabilidad entre las poblaciones para dicha relación funcional por lo que no se podría asumir un

único modelo de regresión simple para predecir el número de antecios germinables por planta para todas las poblaciones.

Los caracteres precoces diámetro basal y altura de planta son útiles para realizar selección indirecta y además establecer modelos predictivos tanto para la biomasa seca aérea total acumulada como para el número de antecios por planta. Sin embargo, en el caso del número de antecios por planta sólo serían útiles en el corto plazo ya que el porcentaje de variabilidad explicado por dichos caracteres disminuyó considerablemente del segundo al tercer año (inclusive para dos de las cuatro poblaciones el carácter altura de planta deja de ser significativo). Para este tercer año [fecha de muestreo (8)] la biomasa seca aérea parcial acumulada por planta explicó un alto porcentaje de la variabilidad del número de antecios germinables por planta casi en exclusividad; y aunque no sea un carácter simple para medir, se encuentra correlacionado tanto con la altura de planta como con el diámetro basal. Por último, cabe destacar que tanto para la biomasa seca aérea total acumulada por planta como para el número de antecios por planta [fecha de muestreo (5)], a fines prácticos, existe la posibilidad de aplicar modelos de regresión simple asumiendo un único modelo predictivo para todas las poblaciones. No obstante, hay que considerar que explicarían un menor porcentaje de variabilidad que los modelos de regresión múltiple.

PARÁMETROS GENÉTICOS DE CARACTERES DE INTERÉS AGRONÓMICO

8.1 Introducción

Pappophorum Schreber es un género de gramíneas nativo del continente americano con 10 especies de las cuales 7 habitan en zonas áridas y semiáridas de Argentina y regiones limítrofes (Pensiero, 1986). En Argentina, más específicamente en los pastizales del sur de la provincia fitogeográfica del Monte, la especie *P. vaginatum* Buckley es prácticamente la única que provee forraje para los animales durante el verano (Giorgetti, com. pers., 2005). Giorgetti et al. (1997, 1998, 1999, 2000a, b) informaron que esta especie es la gramínea perenne C₄, nativa, palatable, más abundante durante la primavera y el verano. Esta situación la expone al sobrepastoreo y actualmente se la considera como una especie decreciente (Torres et al., 2013a). En Argentina, esta especie también puede ser hallada en las provincias fitogeográficas Pampeana, del Espinal y sudeste de la Chaqueña (Pensiero, 1986).

Pappophorum vaginatum es una especie diploide con 2n=60 cromosomas (Gould, 1966; Reeder & Singh, 1968). Garner et al. (2006), Smith (2010) y Smith et al. (2010), en base a sus experiencias en la obtención de cultivares de esta especie en Estados Unidos, informaron que sería autógama o apomíctica, aunque advierten que estudios más específicos sobre el sistema de reproducción de la especie deberían ser realizados. Por su parte Campbell et al. (1983), Rossengurt (1984) y Pensiero (1986) para *Pappophorum* spp, informaron presencia de cleistogamia, mecanismo que favorece la autofecundación. Dicha especie se desarrolla en regiones áridas – semiáridas. En general, ambientes que no son óptimos para el crecimiento y la reproducción, favorecen a la cleistogamia (Campbell et al., 1983).

Las especies forrajeras, nativas y/o naturalizadas, están adaptadas a las condiciones específicas del ambiente (Pistorale et al., 2008); por ello según Mujica (2010a, b), la mejora genética debería orientarse a lograr la combinación de los efectos de la selección natural en el ambiente local y los de la selección artificial para caracteres agronómicos, especialmente los vinculados al control de la implantación y a la producción de forraje y semillas. En este sentido, además de conocer aspectos agronómicos de la especie, es necesario conocer las propiedades genéticas de la población en estudio (Abbot & Pistorale, 2010). Estas propiedades, según Falconer & Mackay (1996) están determinadas por la magnitud relativa de los componentes de la varianza. Así, el cociente entre la varianza genotípica y la varianza fenotípica se denomina heredabilidad en sentido amplio y expresa el grado en el que los fenotipos de los individuos están determinados por sus genotipos (Hanson, 1963; Falconer & Mackay, 1996; Cubero 2013). Dicho parámetro es una de las propiedades más importantes de los caracteres cuantitativos (Falconer & Mackay, 1996; Cubero 2013) y puede variar para distintos caracteres del mismo organismo, para el mismo carácter en organismos distintos, para el mismo carácter en poblaciones distintas del mismo organismo (Abbot & Pistorale, 2010) e incluso para el mismo carácter y población en ambientes distintos (Falconer & Mackay, 1996; Cubero 2013). Varios autores (Hanson, 1963; Nyquist; 1991; Falconer & Mackay; 1996; Cubero; 2013) expresan que el aspecto más destacable de la heredabilidad es que permite predecir la respuesta a la selección. Dicha respuesta, también denominada avance genético, se define como la diferencia entre los valores fenotípicos medios de los hijos de los padres

seleccionados, y el de la población parental antes de ser seleccionada (Falconer & Mackay, 1996). Además, Holland et al. (2003) destacan su importancia para comparar entre diferentes estrategias de selección. Otro parámetro útil para determinar las posibilidades de obtener respuesta a la selección es la relación entre el coeficiente de variación genético y el coeficiente de variación ambiental (Vencovsky, 1987). Estudios referidos a parámetros genéticos de diversos caracteres se realizaron en varias gramíneas forrajeras desde los años 1950. Se han efectuado estudios, por ejemplo, en *Bromus* spp (McDonald et al., 1952; Casler, 1998; Aulicino & Arturi, 2002; Abbot & Pistorale, 2010), en *Dactylis glomerata* (Kalton et al., 1952; Casler, 1998; 2005), en *Festuca arundinacea* (Burton & DeVane, 1953), en *Paspalum dilatatum* (García et al., 2001, 2002), en *Thinopyrum ponticum* (Pistorale et al., 2008), en *Trichloris crinita* (Andrés & Quiroga, 2010) y en *Phalaris aquatica* (Spara et al., 2014). Así, los objetivos de este estudio fueron determinar (a) los componentes de la varianza y coeficientes de variación (a nivel fenotípico, genotípico y ambiental), y (b) la heredabilidad en sentido amplio para caracteres de interés agronómico en cuatro poblaciones espontáneas de *Pappophorum vaginatum* recolectadas en la región semiárida de la provincia de Buenos Aires.

8.2 Materiales y Métodos

Sitios de recolección de las semillas

Semillas de *Pappophorum vaginatum* se recolectaron de cuatro poblaciones espontáneas de la región semiárida de la provincia de Buenos Aires en diciembre de 2012. Las ubicaciones geográficas de los sitios están contenidos en la Tabla 3.1 para las poblaciones de *P. vaginatum* estudiadas y la distribución de dichas poblaciones en la región de estudio se presenta en la Fig. 3.1. En la zona de recolección de P1 y P2 la precipitación media anual histórica (1911 a 2011) es de 665,1 mm. La temperatura media anual es de 14,9 °C siendo las medias anuales máximas y mínimas de 21,3 °C y 8 °C. Las temperaturas máximas y mínimas absolutas son 42,5 °C (enero) y -12 °C (julio). La humedad relativa media histórica (1962 a 2011) es 66,25 % (INTA, 2012). El relieve es típicamente una llanura con cobertura de estrato herbáceo. En la zona de recolección de P3 la precipitación media anual histórica (1959 a 2010) es de 648,5 mm. La temperatura media anual es de 15,4 °C siendo las medias anuales máximas y mínimas de 22,8 °C y 9 °C. Las temperaturas máximas y mínimas absolutas son 43,8 °C (enero) y -11,8 °C (julio). La humedad relativa media histórica (1960 a 2014) es 63,7 % (SMN, 2017). El relieve es una llanura ondulada con lomas arenosas con cobertura de estrato herbáceo y comunidades arbustivas secundarias. En la zona de recolección de P4 la precipitación media anual histórica (1981 – 2016) es de 434,2 mm. La temperatura media anual es de 14,1 °C siendo las medias anuales máximas y mínimas de 20,9 °C y 7,4 °C. Las temperaturas máximas y mínimas absolutas son 42,1 °C (enero) y -8,6 °C (julio). La humedad relativa media histórica (1981 - 2016) es 65,5 % (MA-BA, 2016). El relieve es típicamente una llanura con cobertura de estrato arbustivo abierto y estrato herbáceo.

Procedimientos

El 23/08/2013 se sembraron en bandejas plásticas de 128 celdas (5 cm de altura; 28 cm de ancho; 54 cm de largo), con sustrato mezcla de suelo de la Chacra Experimental Patagones MA-BA con arena (relación 3:1 v/v) 50 cariósides con sus envolturas (glumelas: lemma y pálea) de cada uno de 30 genotipos diferentes de cada población (50 x 30 x 4= 6000 cariósides). El volumen de cada celda fue de 24 cm³.

El 27/09/2013 12 plantas de cada uno de 9 genotipos de cada población, obtenidas luego del estudio de emergencia, se trasplantaron a bandejas plásticas de 72 celdas (5 cm de altura; 28 cm de ancho; 54 cm de largo) con sustrato mezcla de suelo de la Chacra Experimental Patagones MA-BA con arena (relación 3:1 v/v). Cada celda tuvo un volumen de 55 cm³. Esto fue conducido a la intemperie en La Plata (34°56'13" S, 57°56'41" O) en condiciones semi-controladas (sin incidencia de las precipitaciones) manteniendo riego para evitar déficit hídrico (las bandejas plásticas se registraron diariamente y el riego se aplicó procurando que el volumen de tierra de cada celda estuviera siempre saturado de humedad). El riego se detuvo cada vez que comenzó a salir agua gravitacional del fondo de la celda. La humedad (%) y temperatura medias, y temperaturas medias máximas y mínimas del aire durante este período realizado en La Plata (23/8/2013-25/10/2013) fueron 81,8 % ± 0,6; 13,2 °C ± 0,6; 18,7 °C ± 0,6 y 8,2 °C ± 0,6; respectivamente (FCAYF-EEJH, 2013). El 25/10/2013 las 6 plantas de cada uno de los 9 genotipos (líneas puras) de cada población (6 plantas x 9 genotipos x 4 poblaciones x 2 repeticiones= 432 plantas) se trasplantaron a un ensayo de campo (0,5 m entre genotipos/filas x 0,25 m entre plantas dentro de cada fila) con un diseño experimental de bloques completos al azar (n=2) en la Chacra Experimental Patagones MA-BA (40° 39' S; 62° 54'O). Para asegurar la supervivencia de las plantas se aplicó un riego (hasta inundar cada surco) al inicio de cada mes (diciembre, enero febrero) durante el primer verano. El estudio finalizó el 06/06/2016 (reposo invernal luego de los estudios efectuados desde la implantación). Durante el período estudiado se registraron y determinaron caracteres vinculados a la implantación y crecimiento inicial, y a la producción de biomasa aérea y semillas. Para el estudio de la producción de biomasa seca aérea se realizaron cuatro cortes (C1: 25/5/2015; C2: 26/11/2015; C3: 29/02/2016; C4: 06/06/2016) durante el primer período de aprovechamiento después de la implantación. En cada momento de corte se cortaron todas las plantas. Cada planta se cortó a 5 cm de altura, se colocó en sobre de papel, se secó en estufa (6 días a 60 °C) y se pesó (g MS/planta). En la Tabla 8.1 se presentan detalles de las fechas de muestreo y de los caracteres estudiados.

Análisis estadístico y genético

Los datos se analizaron mediante ANOVA para cada población en particular lo cual permitió detectar la variabilidad entre los genotipos dentro de cada una de ellas y estimar los parámetros genéticos para cada población (Andrés & Quiroga, 2010). Previo al análisis, algunas variables en algunas poblaciones fueron transformadas a fin de cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad (Sokal & Rohlf, 1984) (ver detalle en Tabla 8.1). Los componentes de la varianza fueron estimados mediante los cuadrados medios del análisis de varianza (Burton & DeVane, 1953; Singh et al., 1993; Falconer & Mackay, 1996; Cubero, 2013). Así, la varianza ambiental, la varianza genotípica y la varianza fenotípica se estimaron según las siguientes ecuaciones:

$$\text{Varianza ambiental } (\sigma^2_A) = CM_e$$

$$\text{Varianza genotípica } (\sigma^2_G) = CM_g - CM_e / r$$

$$\text{Varianza fenotípica } (\sigma^2_F) = \sigma^2_g + \sigma^2_A$$

donde: CM_e = cuadrado medio del error experimental; CM_g = cuadrado medio de los genotipos; y r = número de repeticiones.

Los coeficientes de variación genético, fenotípico y ambiental se calcularon según:

$$\text{Coeficiente de variación genético (CV}_G\text{)} = \frac{\sqrt{\sigma^2_G} \times 100}{\bar{X}}$$

$$\text{Coeficiente de variación fenotípico (CV}_F\text{)} = \frac{\sqrt{\sigma^2_F} \times 100}{\bar{X}}$$

$$\text{Coeficiente de variación ambiental (CV}_A\text{)} = \frac{\sqrt{\sigma^2_A} \times 100}{\bar{X}}$$

Con las estimaciones de los componentes de la varianza se calculó la heredabilidad en sentido amplio (H^2) (Burton & DeVane, 1953; Singh et al., 1993; Falconer & Mackay, 1996; Cubero, 2013) según la siguiente expresión:

$$\text{Heredabilidad (}H^2\text{)} = \frac{\sigma^2_G}{\sigma^2_G + \sigma^2_A}$$

Como la varianza genética contiene los efectos aditivos y no aditivos, debido a posibles errores de muestreo se obtuvieron algunos componentes de la varianza negativos; por lo cual al hacer sus relaciones estas estimaciones negativas se equipararon a cero (Robinson et al., 1955; Aulicino & Arturi, 2008). Los análisis estadísticos se realizaron usando el programa Statistica 7.1 (StatSoft, Inc, 2005).

Tabla 8.1. Detalle de las fechas de muestreo y de los caracteres estudiados.

Fecha de muestreo (n°)	Estadio fenológico Predominante	Abreviatura del carácter	Descripción [población: transformación para análisis estadístico]
10/12/2013 (1)	Botón floral	MRT (1)	-se contó el n° de Macollas Reproductivas Totales por planta
17/09/2014 (3)	Inicio de crecimiento vegetativo (fin reposo invernal)	Db MHV LL	-se midió el diámetro basal por planta (cm) -se contó el n° de macollos con hojas verdes por planta -se midió la longitud de la lámina más larga por planta (cm)
5/11/2014 (4)	Botón floral	A	-se midió la altura por planta desde la superficie del suelo hasta el extremo de la hoja más larga sosteniéndola verticalmente (cm)
16/12/2014 (5)	Grano maduro; grano inmaduro; botón floral	MRT (5)	-se contó el n° de Macollos Reproductivos Totales por planta [P2: ln(x)]
		AP (5)	-se determinó el n° de antecios por panoja por planta (promedio de 2 panojas por planta) [P3:ln(x)]
		LP (5)	-se determinó la longitud de panoja por planta (cm) (promedio de 5 panojas por planta) [P2: ln(x); P3: √(x)]
		Apl (5)	-se calculó el n° de antecios por planta (MRT x AP) [P1,P2,P4: √(x)]
05/01/2016 (8)	Grano maduro, grano inmaduro; dispersión semillas	MRT (8)	-ver descripción fecha (5)
		AP (8)	-ver descripción fecha (5) [P4: √(x)]
		LP (8)	-ver descripción fecha (5)
		Apl (8)	-ver descripción fecha (5) [P4: √(x)]
		MST	-se calculó la biomasa seca aérea total acumulada por planta al final del periodo estudiado (sumatoria de 4 cortes) (g MS / planta)

8.3 Resultados

Los resultados de los análisis de la varianza de los cuales se estimaron los parámetros genéticos para cada carácter en las cuatro poblaciones se muestran en la Tabla 8.2. Para P1, P2, P3 y P4 hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en 6, 12, 8 y 10 de los 14 casos (carácter-fecha de muestreo) estudiados, respectivamente (Tabla 8.2). Por su parte en la Tabla 8.3 se muestran los valores de varianza genotípica, fenotípica y ambiental con sus respectivos coeficientes de variación, la relación entre el coeficiente de variación genético y el coeficiente de variación ambiental y la heredabilidad en sentido amplio. La heredabilidad en sentido amplio y la relación entre el coeficiente de variación genético y el coeficiente de variación ambiental variaron entre 0,51 y 0,83 y entre 1,02 y 2,23, respectivamente, considerando todos los caracteres en los que se pudo calcular en las cuatro poblaciones (Tabla 8.3). En nueve casos [P1: LL y A; P2: MHV y LP(5); P3: Apl(5), MRT(8) y LP(8); P4: LP(5) y MST] no se pudo calcular porque el análisis de la varianza resultó no significativo ($p > 0,05$) (ver Tabla 8.2).

Tabla 8.2. Análisis de la varianza para caracteres de interés agronómico en cuatro poblaciones de *Pappophorum vaginatum*. CM= cuadrado medio.

Población	Fuente de Variación	C a r a c t e r															
		MRT(1)		Db		MHV		LL		A		MRT(5)		LP(5)		AP(5)	
		CM	p	CM	p	CM	p	CM	p	CM	p	CM	p	CM	p	CM	p
P1	Genotipos	53,6	0,018	2,26	0,011	7,08	0,038	5,67	0,162	26,1	0,236	43,91	0,658	2,88	0,019	270,4	0,049
	Error	21,93		0,858		3,28		3,74		19,55		59,56		1,17		132,4	
P2	Genotipos	32,16	0,001	2,43	0,043	6,83	0,111	11,69	0,000	66,14	0,005	4,11	0,000	0,05	0,193	744,5	0,001
	Error	9,44		1,16		4,05		2,73		22,32		0,827		0,04		219,8	
P3	Genotipos	55,48	0,003	3,68	0,002	2,67	0,649	9,18	0,046	56,52	0,014	131,4	0,004	0,138	0,037	0,218	0,023
	Error	17,81		1,14		3,58		4,43		22,18		43,96		0,064		0,092	
P4	Genotipos	27,43	0,028	1,023	0,666	12,53	0,030	20,99	0,000	20,86	0,513	185,1	0,000	6,18	0,088	1061	0,005
	Error	12,01		1,402		5,58		5,58		22,98		47,41		3,45		363,3	

Tabla 8.2 (cont.). Análisis de la varianza para caracteres de interés agronómico en cuatro poblaciones de *Pappophorum vaginatum*. CM= cuadrado medio.

Población	Fuente de Variación	C a r a c t e r											
		Apl(5)		MRT(8)		LP(8)		AP(8)		Apl(8)		MST	
		CM	p	CM	p	CM	p	CM	p	CM	p	CM	p
P1	Genotipos	62,98	0,483	136,3	0,6	2,35	0,49	123,2	0,87	808100	0,65	0,635	0,034
	Error	66,6		171,6		2,53		261,6		1097108		0,29	
P2	Genotipos	361,8	0,000	276,3	0,046	5,04	0,01	1384	0,000	3777019	0,014	1175	0,001
	Error	74,81		133,2		1,87		291,6		1478880		325,5	
P3	Genotipos	883028	0,099	202,6	0,151	5,34	0,125	1565	0,018	1762394	0,55	427,4	0,656
	Error	508180		130,8		3,26		634,8		2068298		577,9	
P4	Genotipos	225,14	0,025	125,3	0,043	8,4	0,000	7,33	0,000	371,7	0,000	335,2	0,322
	Error	97,03		59,73		1,87		1,22		88,4		285,4	

Tabla 8.3. Varianza genética (σ^2_G), ambiental (σ^2_A) y fenotípica (σ^2_F), heredabilidad en sentido amplio (H^2) y coeficientes de variación genético (CV_G) y ambiental (CV_A) en caracteres de interés agronómico en cuatro poblaciones de *Pappophorum vaginatum*.

Carácter	Población	σ^2_G	σ^2_A	σ^2_F	H^2	CV_G	CV_A	CV_F	CV_G/CV_A
MRT(1)	P1	31,67	21,93	53,6	0,59	35,66	29,68	46,4	1,2
	P2	22,72	9,44	32,16	0,70	45,05	29,04	53,6	1,55
	P3	37,67	17,81	55,48	0,67	47,1	32,39	57,16	1,45
	P4	15,41	12,01	27,43	0,56	46,51	41,06	62,05	1,13
Db	P1	1,4	0,85	2,26	0,62	31,93	24,97	40,53	1,27
	P2	1,27	1,16	2,43	0,52	30,65	29,28	42,39	1,04
	P3	2,54	1,14	3,68	0,69	40,82	27,31	49,11	1,49
	P4	-0,37	1,4	1,02	0	--	29,75	25,41	0
MHV	P1	3,79	3,28	7,08	0,53	50,75	47,21	69,31	1,07
	P2	2,78	4,05	6,83	ns	48,65	58,69	76,23	0,82
	P3	-0,9	3,58	2,67	0	--	35,71	30,88	0
	P4	6,94	5,58	12,53	0,55	49,08	44,02	65,93	1,11
LL	P1	1,93	3,74	5,67	ns	24,47	33,99	41,88	0,71
	P2	8,96	2,73	11,69	0,76	46,92	25,9	53,59	1,81
	P3	4,74	4,43	9,18	0,51	28,34	27,4	39,41	1,03
	P4	15,41	5,58	20,99	0,73	49,19	29,6	57,41	1,66
A	P1	6,55	19,55	26,1	ns	12,66	21,87	25,27	0,57
	P2	43,82	22,32	66,14	0,66	29,62	21,14	36,39	1,4
	P3	34,34	22,18	56,52	0,6	24,39	19,6	31,29	1,24
	P4	-2,12	22,98	20,86	0	--	19,65	18,72	0
MRT(5)	P1	-15,6	59,56	43,91	0	--	45,78	39,37	0
	P2	3,29	0,82	4,11	0,8	10,86	5,44	12,13	1,99
	P3	87,97	43,96	131,9	0,66	65,04	45,98	79,65	1,41
	P4	137,74	47,41	185,1	0,74	81,22	47,65	94,17	1,7
LP(5)	P1	1,7	1,17	2,88	0,59	14,72	12,26	19,16	1,2
	P2	0,01	0,04	0,05	ns	1,31	2	2,39	0,65
	P3	0,07	0,06	0,13	0,53	2,56	2,28	3,5	1,07
	P4	2,73	3,45	6,18	ns	15,3	17,20	23,02	0,88
AP(5)	P1	138	132,4	270,4	0,51	26,65	25,81	36,88	1,02
	P2	524,7	219,8	744,5	0,7	40,14	25,98	47,81	1,54
	P3	0,126	0,09	0,218	0,57	0,5	0,42	0,65	1,17
	P4	697,4	363,7	1061	0,65	40,78	29,45	50,30	1,38
Apl(5)	P1	-3,62	66,66	62,98	0	--	1,03	1	0
	P2	287	74,81	361,8	0,79	1,7	0,87	1,91	1,95
	P3	374848	508180	883028	ns	56,28	65,53	86,38	0,85
	P4	128,11	97,03	225,14	0,57	1,17	1,02	1,55	1,14

ns= no significativo.

Tabla 8.3 (cont.). Varianza genética (σ^2_G), ambiental (σ^2_A) y fenotípica (σ^2_F), heredabilidad en sentido amplio (H^2) y coeficientes de variación genético (CV_G) y ambiental (CV_A) en caracteres de interés agronómico en cuatro poblaciones de *Pappophorum vaginatum*.

Carácter	Población	σ^2_G	σ^2_A	σ^2_F	H^2	CV_G	CV_A	CV_F	CV_G/CV_A
MRT(8)	P1	-35,3	171,6	136,3	0	--	40,90	36,45	0
	P2	143,1	133,2	276,3	0,51	37,53	37,53	54,05	1,03
	P3	71,79	130,8	202,6	ns	38,3	38,30	47,66	0,74
	P4	65,56	59,73	125,3	0,52	34,89	34,89	50,53	1,04
LP(8)	P1	-0,18	2,53	2,35	0	--	15,99	15,41	0
	P2	3,17	1,87	5,04	0,62	16,41	12,6	20,69	1,3
	P3	2,08	3,26	5,34	ns	12,18	15,25	19,52	0,79
	P4	6,53	1,87	8,4	0,77	23,27	12,45	26,4	1,86
AP(8)	P1	-138	261,6	123,6	0	--	28,91	19,87	0
	P2	1092	291,6	1384	0,79	47,87	24,73	53,88	1,93
	P3	931	634,8	1565	0,59	35,71	29,49	46,32	1,21
	P4	6,11	1,22	7,33	0,83	3,3	1,47	3,62	2,23
Apl(8)	P1	-289008	1097108	808100	0	--	55,4	47,54	0
	P2	2298739	1478280	3777019	0,6	67,43	54,08	86,44	1,24
	P3	-305904	2068298	1762394	0	--	53,82	49,68	0
	P4	283,3	88,4	371,7	0,76	0,97	0,54	1,12	1,79
MST	P1	0,345	0,29	0,635	0,54	1,66	1,53	2,26	1,09
	P2	849,8	325,5	1175,3	0,72	65,36	40,45	76,87	1,61
	P3	-150	577,9	427,4	0	--	48,47	41,68	0
	P4	49,8	285,4	335,2	ns	16,60	39,75	43,08	0,41

ns= no significativo.

8.4 Discusión

La heredabilidad expresa el grado en que los fenotipos de los individuos están determinados por sus genotipos (Hanson, 1963; Falconer & Mackay, 1996; Cubero 2013). Dicho parámetro es una de las propiedades más importantes de los caracteres cuantitativos ya que permite predecir el posible progreso por selección en un programa de mejoramiento (Hanson, 1963; Nyquist, 1991; Falconer & Mackay, 1996 y Cubero, 2013). De acuerdo a la escala establecida por Stanfield (1971) los caracteres son de alta, media y baja heredabilidad cuando presentan valores mayores a 0,50, entre 0,20 y 0,50, y menores a 0,20, respectivamente. Así, los resultados de esta investigación mostraron que en general los caracteres presentaron valores altos de heredabilidad en sentido amplio (entre 0,51 y 0,83), considerando las cuatro poblaciones estudiadas (Tabla 8.2). No obstante, en nueve casos no se pudo calcular debido a que el análisis de la varianza resultó no significativo ($p > 0,05$) (ver Tabla 8.2). El número de macollas reproductivas totales por planta, considerando todas las poblaciones y fechas para las cuales se pudo calcular, tuvo una heredabilidad promedio de 0,63. Al observar por separado las fechas de muestreo (1), (5) y (8), sus valores promedio de heredabilidad fueron 0,63, 0,73 y 0,51, respectivamente. Esto permite inferir que se puede esperar una respuesta a la selección para este carácter, y además muestra que su heredabilidad se mantiene alta en los tres momentos evaluados. Otros estudios en

gramíneas forrajeras también informaron alta heredabilidad para el número de macollas reproductivas totales por planta. Por ejemplo, Abbot & Pistorale (2010) en *Bromus catharticus* y Spara et al. (2014) en *Phalaris aquatica* obtuvieron valores de heredabilidad de 0,81 y 0,75, respectivamente. No obstante, Pistorale et al. (2008) en *Thinopyrum ponticum* obtuvieron un valor bajo de heredabilidad (0,19) para dicho carácter. La longitud de panoja por planta, considerando todas las fechas y poblaciones para las cuales se pudo calcular, también tuvo una heredabilidad promedio de 0,63. No obstante, se observó que en la fecha de muestreo (5) sólo se pudo calcular para P1 y P3, y en la fecha de muestreo (8) para P2 y P4. Esto también permitió inferir que se puede esperar una respuesta a la selección para este carácter; aunque a diferencia del número de macollas reproductivas totales por planta, la heredabilidad no sólo que no se mantuvo alta en ambas fechas sino que en algunos casos directamente no se pudo calcular, porque el análisis de varianza resultó no significativo ($p > 0,05$). En este caso los valores de heredabilidad de otros estudios en gramíneas forrajeras fueron variables. Por ejemplo, Abbot & Pistorale (2010) en *Bromus catharticus* y Spara et al. (2014) en *Phalaris aquatica* informaron valores de heredabilidad altos (0,66 y 0,88, respectivamente), García et al. (2001) en *Paspalum dilatatum* informaron valores medios (0,34) y tanto Aulicino & Arturi (2008) en *Bromus catharticus* como Pistorale et al. (2008) en *Thinopyrum ponticum* informaron valores bajos (0,16 y 0,1, respectivamente). El número de antecios por panoja por planta, considerando todas las poblaciones y fechas tuvo una heredabilidad promedio de 0,66. En este caso se podría realizar selección y esperar algún avance genético en cada población. Además, al igual que para el número de macollas reproductivas totales por planta, la heredabilidad se mantuvo alta en ambas fechas. En otros estudios para este carácter se obtuvieron valores de heredabilidad de medios a altos. Así, Abbot & Pistorale (2010) en *Bromus catharticus* y Spara et al. (2014) en *Phalaris aquatica* informaron valores altos (0,80 y 0,87, respectivamente), mientras que Aulicino & Arturi (2008) obtuvieron valores medios (0,44). El número de antecios por planta presentó una heredabilidad promedio de 0,68, aunque sólo se pudo calcular para P2 y P4 en ambas fechas. De aquí que, sólo en dichas poblaciones se podría esperar avance genético. De todos modos vale aclarar que en este trabajo dicho carácter se estimó en base al número de macollas reproductivas totales por planta y al número de antecios por panoja por planta. En cuanto a los caracteres vegetativos estudiados se observó que la heredabilidad de la biomasa seca aérea total acumulada por planta sólo se pudo calcular para P1 y P2 y que su valor promedio fue de 0,63. Así, se puede inferir que sólo en las poblaciones mencionadas se podría esperar respuesta a la selección. Este resultado coincide con lo informado por Pistorale et al. (2008) quienes también informaron valores altos de heredabilidad (0,55) para este carácter en *Thinopyrum ponticum*. Casler (2005) en un estudio en *Panicum virgatum* también informó valores altos de heredabilidad (0,63) para dicho carácter en base a rendimientos por parcela. Para la altura de planta también se obtuvo una heredabilidad promedio de 0,63 para las poblaciones que se pudo calcular (P2, P3). Esto coincide tanto con Andrés & Quiroga (2010) como con Casler (2005) quienes también informaron valores altos de heredabilidad (0,9) para este carácter en *Trichloris crinita* y *Panicum virgatum*, respectivamente. Por su parte, para los caracteres diámetro basal, número de macollas con hojas verdes por planta y longitud de la lámina más larga por planta se obtuvieron valores promedio de heredabilidad de 0,61, 0,54 y 0,66, respectivamente para las poblaciones que se pudo calcular (diámetro basal: P1, P2 y P4; número de macollas con hojas verdes por planta: P1 y P4; longitud de la lámina más larga por planta: P2, P3 y P4). Así, en general para estos tres caracteres y poblaciones las expectativas de avance genético también son promisorias. Otro

parámetro que junto a la heredabilidad da una idea de las posibilidades de obtener algún avance genético es el coeficiente de variación genético. En este estudio, y en concordancia con la heredabilidad, se observó que en general los caracteres presentaron coeficientes de variación genéticos altos en las cuatro poblaciones estudiadas. Esto se puede inferir debido a que las relaciones entre el coeficiente de variación genético y el ambiental fueron superiores a 1. Considerando los caracteres que también se analizaron en algunas otras investigaciones en gramíneas forrajeras los resultados coinciden parcialmente. Por ejemplo, Abbot & Pistorale (2010) en *Bromus catharticus* para el número de macollas reproductivas totales, número de antecios y longitud de panoja por planta informaron valores de 1,66, 2,07 y 1,48, respectivamente. Pistorale et al. (2008) en *Thynopirum ponticum* informaron valores de 0,48, 0,33 y 1,11, respectivamente para el número de macollas reproductivas totales, longitud de panoja y biomasa seca por planta. Así, según lo expuesto por Vencovsky (1987) y Vencovsky & Barriga (1992), el hecho que la relación entre el coeficiente de variación genético y el coeficiente de variación ambiental sea mayor a 1 indica que la variación genética es mayor que la ambiental, y por ende que la expectativa de respuesta a la selección será mayor en el corto plazo. Finalmente, a modo de síntesis se puede decir que, según la población, entre 6 y 12 de los 14 casos estudiados para cada una de las poblaciones resultaron significativos ($p \leq 0,05$) del análisis de varianza, con valores de heredabilidad altos y una relación entre el coeficiente de variación genético y el coeficiente de variación ambiental superior a 1. Esto muestra que las expectativas de lograr algún avance genético en un programa de selección de *Pappophorum vaginatum* serían promisorias para varios caracteres de interés agronómico, inclusive en el corto plazo.

SÍNTESIS, CONCLUSIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS

En Argentina gran parte de la actividad de producción de ganado de carne se desarrolla en zonas áridas-semiáridas (75% del territorio continental) y se basa en el pastoreo de la vegetación nativa (Busso & Fernández, 2018). De esta manera, los pastizales naturales son importantes tanto como factor de producción, como por ser reservorio de biodiversidad cumpliendo un servicio ecológico o ambiental con el consecuente impacto socio-económico (Mujica, 2010a, b). Específicamente en la región de estudio (sur de la provincia fitogeográfica del Monte), *Pappophorum vaginatum* es una especie clave por ser una de las pocas gramíneas perennes nativas abundantes en la primavera y verano (Giorgetti et al., 1997, 1998, 1999, 2000a, b). Como resultado del sobrepastoreo, actualmente se considera a esta especie como decreciente (Torres et al., 2013a). Así, el incremento de las características cuantitativas (abundancia, biomasa, etc) de *Pappophorum vaginatum* en los pastizales sería importante no sólo para aumentar la disponibilidad de forraje para el pastoreo del ganado sino también para mantener o recuperar la biodiversidad.

En el marco de esta investigación se realizaron viajes de exploración para la recolección de germoplasma, recorriendo la región semiárida de la provincia de Buenos Aires, el centro-oeste de la provincia de La Pampa y el noreste de la provincia de Río Negro. Se recolectaron semillas de 6 poblaciones nativas espontáneas de *Pappophorum vaginatum*. Una vez acondicionado, el germoplasma se colocó en heladera y conformó la colección de trabajo. Con dicho material se realizaron evaluaciones de diversos caracteres de interés agronómico en condiciones controladas, semi-controladas y a campo.

Con respecto al comportamiento de la germinación de las cariósides se estudió (1) el efecto del factor luz y (2) las combinaciones de los efectos de los factores luz y presencia/ausencia de las coberturas de la cariósida. En (1) se observó un efecto significativo y positivo del tratamiento con luz (vs. el tratamiento en oscuridad permanente) sobre la germinación de las cariósides de las poblaciones estudiadas (P1 y P2). Esto coincidió con los resultados de Martínez et al. (1992) para esta especie. Luego teniendo en cuenta este resultado, en el mismo estudio se efectuó otro ensayo donde se determinó la germinación de las cariósides (con sus coberturas) de las poblaciones sólo bajo el tratamiento con luz, encontrándose diferencias significativas en la germinación acumulada (%) y en el índice de velocidad de germinación. Esto también coincidió con estudios preliminares (Casalla et al., 2010; Entio et al., 2011) donde se informó variabilidad en el comportamiento germinativo entre poblaciones nativas espontáneas de *Pappophorum vaginatum* (tanto en condiciones fluctuantes de luz/oscuridad como en oscuridad permanente). Por su parte en (2), se observó un efecto significativo y positivo de la luz y de la ausencia de las coberturas sobre la germinación de las cariósides en las cuatro poblaciones estudiadas (P1, P2, P5 y P6). El hecho que la luz tuvo un efecto positivo sobre la germinación concuerda con los resultados de Martínez et al. (1992) para un material de esta especie, y de Entio et al. (2012, 2014) para distintas poblaciones de la misma. A su vez, el efecto positivo de la ausencia de las coberturas sobre la germinación concuerda con los resultados de Herrera-C et al. (2006), González et al. (2015), López-Spahr et al. (2015) y Bolaños et al. (2015) para otras gramíneas forrajeras nativas y no nativas. Tanto la luz como la ausencia de las coberturas de las cariósides produjeron un incremento de la germinación de las mismas en todas las poblaciones

de *Pappophorum vaginatum* estudiadas, por lo que ambos factores deberían ser considerados al momento de manejar su implantación artificial o resiembra natural. Además, se debería tener en cuenta posibles diferencias en la velocidad de germinación entre las poblaciones. Una mayor velocidad de germinación contribuiría a aprovechar rápidamente los eventos de escasa precipitación ($\leq 5\text{mm}$), los cuales son comunes en el sitio de estudio (Páez et al., 2005).

Con respecto al vigor de planta, se estudió tanto su variabilidad como la de ciertos caracteres que podrían ser determinantes del mismo. Además, se estudiaron posibles asociaciones entre dichos caracteres. Para el vigor de planta se observó variabilidad sólo dentro de poblaciones lo que sugiere la conveniencia de la selección intrapoblacional. Sin embargo, a futuro sería de interés estudiar dicha variabilidad en un número más amplio de poblaciones. Para varios de los posibles caracteres asociados (longitud de raíces seminales y adventicias, altura y la partición de fotoasimilados) se observó variabilidad intra e inter poblacional lo que implica expectativas de respuesta a la selección entre y dentro de las poblaciones. La asociación determinada entre algunos caracteres, especialmente altura y número de macollas, con el vigor de las plantas implica que podrían estar involucrados como determinantes del mismo y, por lo tanto, deberían ser considerados en el diseño de la mejora genética para lograr el éxito de la implantación.

Por otra parte, se efectuó un estudio de campo en la Chacra Experimental Patagones donde se evaluaron tanto la variabilidad inter e intra poblacional en caracteres asociados a la implantación y a la producción y calidad de forraje y semillas como las posibles asociaciones entre los distintos caracteres en cuatro poblaciones nativas espontáneas de *Pappophorum vaginatum*. Para ello, se efectuó el transplante de 6 plantas de cada uno de 9 genotipos por población (2 repeticiones) en parcelas experimentales dentro de una clausura al acceso a herbívoros domésticos y silvestres. Este estudio de campo se desarrolló durante la primera temporada de aprovechamiento desde la implantación.

Previo a la implantación a campo se estudió la respuesta germinativa de las semillas y la emergencia de las plántulas de las poblaciones. Para P3 se observaron los mejores parámetros tanto germinativos como de emergencia, aunque no superó significativamente a todas las demás poblaciones para ningún parámetro. No obstante, la variabilidad observada es promisoría para la mejora genética de la implantación. Además, el hecho de que las semillas posean buenos parámetros germinativos y de emergencia no sólo sería ventajoso para la implantación artificial sino también para la resiembra natural, ya que posibilitaría que una mayor cantidad de individuos puedan aprovechar mejor los eventos de escasa precipitación para germinar y emerger, y así tener más posibilidades de establecerse con éxito.

Teniendo en cuenta la supervivencia de plantas (>95% para todas las poblaciones) y la ausencia de diferencias significativas en el diámetro de mata al finalizar el año de implantación, se observó que las cuatro poblaciones estudiadas tuvieron un potencial similar para el establecimiento a campo de sus plantas. Además, en esta etapa de establecimiento y crecimiento inicial se destaca a P1 como la población más precoz en iniciar su floración, debido a que presentó mayor cantidad de macollas reproductivas más maduras por planta en una etapa inicial del ciclo reproductivo. La existencia de variabilidad para este carácter es promisoría para la selección de materiales con un inicio de floración más tardío lo que permitiría extender la producción de forraje de mejor calidad, considerando que el inicio de la etapa reproductiva se asocia a una reducción de la calidad de forraje (Green et al., 1971; Guaita et al., 1989; Smethan, 1990; Pontes et al., 2007).

La producción de biomasa seca aérea presentó variabilidad intergenotípica dentro de P1 y P2 (para todos los cortes y para el total acumulado al final del periodo de estudio) y dentro de P4 (Cortes 3 y 4). También se observó variabilidad entre las poblaciones en el Corte 1 y en el Corte 4. El Corte 1 además de evaluar la producción de biomasa seca en una posible primera fecha de pastoreo (17 meses después de la implantación) también sirvió como estimador del crecimiento inicial. Así P3 y P4, que ya habían mostrado valores superiores ($p \leq 0,05$) en caracteres precoces indicadores de crecimiento inicial (número de macollas con hojas verdes por planta y longitud de la lámina más larga por planta), estuvieron entre las poblaciones con mayores rendimientos de biomasa seca aérea para el Corte 1. En referencia a la calidad de la biomasa seca aérea, la mayoría de los parámetros evaluados variaron de manera diferencial ($p \leq 0,05$) según el momento de corte (C1, C2, C3, C4) y las poblaciones (P1, P2, P3, P4). Uno de los parámetros más importantes es el contenido de proteína del forraje ya que si no es suficiente es el primero que limita la ingesta voluntaria de los herbívoros seguido por el contenido de fibra (Minson, 1981). Así se observó, considerando las cuatro poblaciones y cortes, que la proteína bruta tuvo un promedio de 10,4 % y que se mantuvo siempre como mínimo dentro del rango 6 - 8 %, que según Hennessy (1980) y Moore & Kunkle (1995) sería el umbral mínimo requerido por el ganado para no limitar su consumo voluntario. Cabe destacar a P2 que en tres de los cuatro cortes tuvo mayor ($p \leq 0,05$) porcentaje de proteína bruta que el resto de las poblaciones. Además, considerando el promedio de dicho carácter durante la época de principal aprovechamiento (Corte 2 y 3), superó ($p \leq 0,05$) entre casi un 15 y un 26 % a las demás poblaciones. También P2 se destacó por presentar mayor ($p \leq 0,05$) total de nutrientes digestibles y energía metabolizable que las demás poblaciones en el aprovechamiento de verano (Corte 3); aunque para este último carácter fue igualada por P1.

En especies forrajeras, además de la producción y calidad de la biomasa aérea, es fundamental tener en cuenta la producción de semillas para la difusión de los cultivares. A su vez, este carácter también puede ser clave para la persistencia de dichas especies en los ambientes de uso mediante la resiembra natural (Yang et al. 1988; Entio & Mujica, 2011). En este estudio se determinó que una planta de *P. vaginatum* puede producir hasta casi 1500 antecios germinables; antecios que por su peso y morfología pueden ser fácilmente dispersadas por el viento. La mayoría de los caracteres registrados y analizados en relación a la producción de semillas mostraron la existencia de variabilidad intra e interpoblacional. En la fecha de muestreo (5) el número de macollas reproductivas totales por planta (rango: 14,4 – 16,8) no presentó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre las poblaciones. Sin embargo, se observó que P1 tuvo un valor más elevado que el resto de las poblaciones. Esto evidenciaría nuevamente la tendencia de P1 a una mayor precocidad para iniciar el ciclo reproductivo. A pesar que P1 tuvo menor ($p \leq 0,05$) longitud de panoja y número de antecios por panoja que las demás poblaciones, su producción de antecios por planta no fue superada ($p > 0,05$) por ninguna de las demás poblaciones. Esto es esperable ya que uno de los determinantes del número de antecios por planta es el número de macollas reproductivas por planta, carácter para el cual P1 presentó un valor elevado. Con respecto a la fecha de muestreo (8), el número de macollas reproductivas totales por planta varió según la población entre 22 y 32 y su promedio superó en casi un 80 % al promedio registrado en la fecha de muestreo (5). Esto era esperable debido a la diferencia en los momentos, tanto desde la siembra como desde el inicio de la etapa de fructificación, en los que se realizaron ambos muestreos. Se observó que P1 y P2 estuvieron entre las poblaciones con mayor ($p \leq 0,05$) número de macollas reproductivas totales por planta. Además fueron las dos poblaciones con mayor

($p \leq 0,05$) número de macollas reproductivas Grado 5 por planta. Esto evidenció la mayor precocidad en el inicio del ciclo reproductivo de P1 y P2 con respecto a P3 y P4. La población 1 resultó inferior ($p \leq 0,05$) a las demás poblaciones para los caracteres longitud de panoja y número de antecios por panoja. A pesar de esto, su producción de antecios por planta sólo fue superada por P3 ya que, al igual que en la fecha de muestreo (5), compensó con el número de macollas reproductivas por planta. Con antecios cosechados en la fecha de muestreo (8) se realizó un estudio de germinación cuyo resultado para el parámetro germinación acumulada (%) varió entre 54 y 68 % según la población. Así, se observó que no hubo variabilidad entre las poblaciones para el número de antecios germinables por planta (rango: 1116 – 1443), aunque P3 presentó un valor más elevado. Considerando la densidad de plantas en este estudio (8 plantas/m²) y una referencia de peso de 1000 semillas (con sus coberturas: lemma y pálea) de 1 g (Smith, 2010), los rendimientos serían de entre 89 y 115 kg/ha. Otros autores también estudiaron la producción de semillas en *Pappophorum* spp. Smith (2010) y Smith et al. (2010) estimaron para germoplasma de *Pappophorum vaginatum* seleccionado en el sur de Estados Unidos, un rendimiento promedio para tres cosechas anuales de 66 kg/ha, aunque con una densidad de 3,65 plantas/m². Por su parte, Pol et al. (2010) en un estudio en un pastizal de la región del Monte central de Argentina informaron que *Pappophorum* spp con una densidad de 0,3 plantas/m² produjo 2,61 kg/ha, considerando la mejor de tres temporadas de crecimiento. Así, los valores obtenidos en el presente estudio parecerían ser elevados, sobre todo considerando que representan sólo una cosecha dentro del periodo reproductivo que en general se extiende de diciembre a marzo. Vale aclarar que el promedio de las precipitaciones de los años estudiados superaron en un 34 % al promedio de precipitaciones históricas, y que según Pol et al. (2010) *Pappophorum* spp produce más del doble de semillas en un año lluvioso que en otro seco.

En el presente estudio el número de individuos implantados por unidad de superficie fue de 8 plantas/m² y no varió significativamente para ninguna de las poblaciones hasta el final del período estudiado. La población 3 mostró el mayor ($p \leq 0,05$) potencial de resiembra natural con hasta un 28,3% más de plántulas por m² en la siguiente generación que las otras tres poblaciones. No obstante, las cuatro poblaciones de *Pappophorum vaginatum* estudiadas pueden lograr un alto potencial de resiembra natural considerando que el número de plántulas potenciales por m² fue como mínimo casi 500 veces la cantidad de individuos originalmente implantados. Además, es importante resaltar que los valores de semilla producida en este estudio corresponden sólo a una parte de la etapa de fructificación, la cual normalmente se extiende desde diciembre a marzo. Los resultados obtenidos en el presente estudio, aun teniendo en cuenta que son valores potenciales de resiembra, permitirían suponer que este mecanismo de reproducción sexual (vs. asexual) es clave para la persistencia a largo plazo de la especie en los pastizales. No obstante, en futuras investigaciones sería importante poder determinar la importancia relativa de ambas formas de reproducción.

Para varios de los caracteres analizados en este estudio se detectó una mayor significación de la variabilidad interpoblacional que intrapoblacional. Esto podría ser un indicio de que las poblaciones estudiadas podrían ser principalmente autógamias. Según, Loveless & Hamrick (1984) la autogamia homogeneiza los genotipos producidos dentro de una población e incrementa el potencial de diferenciación entre las poblaciones. Por lo tanto, en las especies con escasa o nula fecundación cruzada es esperable encontrar mayor variabilidad inter que intrapoblacional (Jain, 1975, 1976) ya que cada población está compuesta por un número limitado de genotipos locales homocigotas adaptados a micrositios ecológicos específicos (Stebbins, 1950, 1957;

Jain 1976). Además, Campbell et al. (1983), Rossengurt (1984) y Pensiero (1986) informaron que *Pappophorum* spp presenta cleistogamia, mecanismo que favorece la autofecundación. Por su parte, Garner et al. (2006), Smith (2010) y Smith et al. (2010), de sus experiencias en la obtención de cultivares de *Pappophorum vaginatum*, informaron que dicha especie sería autógena o apomíctica, aunque advierten que estudios más específicos sobre el sistema de reproducción de la especie deberían ser realizados.

En relación a las asociaciones entre caracteres se estudiaron tanto correlaciones como regresiones múltiples. El estudio de las respuestas correlacionadas sugiere que se podría obtener un progreso genético más rápido seleccionando un carácter correlacionado (o secundario) en vez del carácter de interés (o primario), especialmente cuando el carácter primario es difícil o costoso de medir (Gallais, 1984; Falconer & Mackay, 1996; Price & Casler, 2014). En el presente estudio se observó que en general las poblaciones (excepto P2) presentaron correlación significativa y positiva entre los caracteres vegetativos estudiados asociados a la implantación, precocidad de crecimiento y producción de biomasa. Esto permite inferir que la producción de biomasa seca aérea por planta podría ser mejorada mediante selección indirecta a través de un conjunto de caracteres precoces de fácil medición como el diámetro basal, la altura de planta, el número de macollas con hojas verdes por planta y la longitud de la lámina más larga por planta. Sin embargo, habría que tener en cuenta posibles diferencias en el patrón de correlaciones entre poblaciones. Por ejemplo, en este estudio para P2 se observó independencia entre dos de los caracteres precoces (número de macollas con hojas verdes y longitud de la lámina más larga) y la biomasa seca aérea por planta. En cuanto a los caracteres reproductivos, en general se observó una correlación significativa y positiva entre ellos para todas las poblaciones y en ambas fechas de muestreo. A su vez, se destaca que todas las poblaciones presentaron correlación significativa y positiva del número de antecios por planta [fecha de muestreo (5)] y del número de antecios germinables por planta [fecha de muestreo (8)] con los caracteres vegetativos precoces diámetro basal y altura de planta. Al igual que lo inferido anteriormente para la biomasa, la producción de semillas por planta también podría ser mejorada mediante selección indirecta a través de un par de caracteres precoces de fácil medición como el diámetro basal y la altura de planta, con la ventaja de que en este caso no hubo diferencias en el patrón de correlaciones entre las poblaciones. Así, las correlaciones encontradas permitirían entonces seleccionar caracteres secundarios de manera más precoz y por simple observación fenotípica para indirectamente mejorar caracteres relativamente más complejos como la producción de biomasa seca aérea y la producción de semillas en las poblaciones estudiadas.

Mientras en el análisis de correlación se mide el nivel de asociación entre variables sin unidades físicas y sin especificar cuál es la causa y cuál la consecuencia, el análisis de regresión tiene unidades físicas e implica relación causa-efecto (Gomez & Gomez, 1984). En este estudio, del análisis de regresión múltiple (proceso de selección paso a paso hacia adelante) se observó que los caracteres significativos ($p \leq 0,05$) para explicar la variabilidad de la biomasa seca aérea total acumulada por planta fueron el diámetro basal y la altura de planta. Estos caracteres, según la población, explicaron entre un 26 y un 40,1 % de dicha variabilidad. A su vez, se observó que la altura de planta individualmente fue el carácter que, en promedio, explicó mayor porcentaje de esta variabilidad (24,5 %). Entonces, se compararon las rectas de regresión de altura de planta sobre la biomasa seca aérea total acumulada por planta de las poblaciones con menor y mayor valor de ordenada y se observó que no hubo diferencias ($p > 0,05$). Esto permitió inferir que no hay variabilidad entre las

poblaciones para esta relación funcional, por lo que se podría asumir un único modelo de regresión simple para predecir la producción de biomasa seca aérea total acumulada por planta para todas las poblaciones. Por otra parte, se observó que los caracteres significativos ($p \leq 0,05$) para explicar la variabilidad del número de antecios por planta fueron: el diámetro basal, la altura de planta, el número de macollas con hojas verdes por planta y el número de macollas reproductivas totales por planta registrados en la fecha de muestreo (1). Así, para la fecha de muestreo (5) combinaciones de estos caracteres explicaron, según la población, entre un 29,1 y un 45,5 % de la variabilidad del número de antecios por planta; mientras que para la fecha de muestreo (8) dichos caracteres (en combinaciones o individualmente) explicaron, según la población, entre un 5,4 y un 23 % de la variabilidad del número de antecios por planta. Además se observó que para la fecha de muestreo (5), en promedio, la altura de planta individualmente fue el carácter que explicó el mayor porcentaje de dicha variabilidad (19,6 %). Entonces, se compararon las rectas de regresión de altura de planta sobre el número de antecios por planta entre las poblaciones con menor y mayor valor de ordenada y se observó que no hubo diferencias ($p > 0,05$). Esto permitió inferir que no hay variabilidad entre las poblaciones para esta relación funcional por lo que se podría asumir un único modelo de regresión simple para predecir el número de antecios por planta para todas las poblaciones. Además, para la fecha de muestreo (8), se realizó otro análisis de regresión múltiple en el cual la variable dependiente fue el número de antecios germinables por planta y a las variables independientes se incorporó la biomasa seca aérea parcial acumulada por planta. Así, se observó que este último carácter explicó entre un 30 y un 62,2 % de la variabilidad del número de antecios germinables por planta y que desplazó a casi todos los demás caracteres de los modelos de regresión. Esto evidenció la gran influencia de la acumulación de biomasa seca aérea sobre la producción de semillas germinables. También se compararon las rectas de regresión de biomasa seca aérea parcial acumulada por planta sobre el número de antecios germinables por planta entre las poblaciones con menor y mayor valor de ordenada y se observó que hubo diferencias ($p \leq 0,01$). Esto permite inferir que hay variabilidad entre las poblaciones para dicha relación funcional por lo que no se podría asumir un único modelo de regresión simple para predecir el número de antecios germinables por planta para todas las poblaciones. Los caracteres precoces diámetro basal y altura de planta son útiles para realizar selección indirecta y además establecer modelos predictivos tanto para la biomasa seca aérea total acumulada como para el número de antecios germinables. Sin embargo, en el caso del número de antecios por planta sólo serían útiles en el corto plazo ya que el porcentaje de variabilidad explicado por dichos caracteres disminuye considerablemente del segundo al tercer año (inclusive para dos de las cuatro poblaciones el carácter altura de planta deja de ser significativo). Para este tercer año [fecha de muestreo (8)] la biomasa seca aérea parcial acumulada por planta explicó un alto porcentaje de la variabilidad del número de antecios germinables por planta casi en exclusividad; y aunque no sea un carácter simple para medir, se encuentra correlacionado tanto con la altura de planta como con el diámetro basal. Por último, cabe destacar que tanto para la biomasa seca aérea total acumulada por planta como para el número de antecios por planta [fecha de muestreo (5)], a fines prácticos, existe la posibilidad de aplicar modelos de regresión simple asumiendo un único modelo predictivo para todas las poblaciones. No obstante, hay que considerar que explicarían un menor porcentaje de variabilidad que los modelos de regresión múltiple.

Finalmente, se realizó un estudio de algunos parámetros genéticos (heredabilidad en sentido amplio y la relación coeficiente de variación genético / coeficiente de variación ambiental) útiles en la predicción del posible éxito en un programa de

selección. Con respecto a la heredabilidad en sentido amplio, en general, los caracteres presentaron valores altos (entre 0,51 y 0,83), considerando las cuatro poblaciones estudiadas. No obstante, en nueve casos (carácter-fecha de muestreo) no se pudo calcular debido a que el análisis de la varianza resultó no significativo ($p > 0,05$). En concordancia con la heredabilidad, también se observó que en general los caracteres presentaron coeficientes de variación genéticos altos en las cuatro poblaciones estudiadas. Esto se puede inferir debido a que las relaciones entre el coeficiente de variación genético y el ambiental fueron superiores a 1. De aquí se observa que, según la población, entre 6 y 12 casos (carácter-fecha de muestreo) de los 14 estudiados para cada una de las poblaciones resultaron significativos ($p \leq 0,05$) del análisis de varianza, con valores de heredabilidad altos y una relación entre el coeficiente de variación genético y el coeficiente de variación ambiental superior a 1. Esto muestra que las expectativas de lograr algún avance genético en un programa de selección de *Pappophorum vaginatum* serían promisorias para varios caracteres de interés agronómico, inclusive en el corto plazo.

Conclusiones generales

- ✓ Las cariósides de todas las poblaciones de *Pappophorum vaginatum* estudiadas presentan una mejor respuesta germinativa con luz y en ausencia de sus coberturas (lemma y pálea), por lo que ambos factores deberán ser considerados al momento de manejar su implantación artificial (ej. profundidad de siembra, posible tratamiento pre-siembra para remover lemma y pálea) o resiembra natural (ej. remoción de biomasa aérea mediante pastoreo).
- ✓ La variabilidad, las asociaciones y los valores de heredabilidad y de relación entre el coeficiente de variación genético y de variación ambiental obtenidos para varios caracteres de interés agronómico en las poblaciones de *P. vaginatum* estudiadas, indican expectativas de lograr avance genético en futuros programas de selección y son útiles para establecer criterios de selección.
- ✓ Esta especie de crecimiento estival, de alta palatabilidad, considerada como “decreciente” debido al sobrepastoreo y adaptada a las condiciones ambientales locales, no solamente produce biomasa aérea de calidad sino también una considerable cantidad de antecios germinables. Esto consolida la hipótesis que, entre los recursos genético locales, es una especie estratégica para iniciar programas de selección conducentes a obtener poblaciones mejoradas aptas para lograr una mayor productividad ganadera y recuperar (en el caso de su desaparición de alguna área) o mantener (aumentando su abundancia revirtiendo la tendencia decreciente) la biodiversidad en los pastizales de la región sur de la Región Fitogeográfica del Monte (Argentina).

Posibles investigaciones futuras

En primer lugar, sería clave poder realizar estudios con marcadores moleculares para analizar la variabilidad genética de la especie dentro de Argentina y del continente americano. Además, sería importante continuar profundizando en estudios tanto de caracteres vinculados a estrategias adaptativas y de interés agronómico como de factores que puedan afectarlos (ej. efecto de la alta irradiancia en la germinación de las cariósides). También, sería de interés poder asociar dichos

caractares a marcadores moleculares para asistir los procesos de selección. Cabe aclarar que actualmente existe un proyecto donde se comenzaron a desarrollar estudios en genómica con poblaciones nativas de Argentina y de Estados Unidos en colaboración con Texas A&M AgriLife Research and Extension Center at Stephenville.

Por otra parte, sería importante poder determinar (1) la dinámica de las potenciales plántulas y (2) si la reproducción sexual es o no más importante que la asexual en la producción de materia seca y supervivencia de las plantas por unidad de superficie cuando las mismas son expuestas a condiciones de pastoreo en el campo.

- Abbott, L. & S. Pistorale.** 2010. Determinación de componentes de la varianza y heredabilidad en cebadilla criolla (*Bromus catharticus* Vahl.). *Agriscientia* 27 (2): 115-123.
- Ahring, R. M., J. D. Estin & C. S. Carrison.** 1975. Seed appendages and germination of two Asiatic Bluestems. *Agronomy Journal* 67: 321-325.
- Allard, R.W. & A.D. Bradshaw.** 1964. Implications of genotype-environment interactions in applied plant breeding. *Crop Science* 4: 503-508.
- Allard, R.W.** 1999. *Principles of Plant Breeding*. 2nd ed. Ed. John Wiley & Sons, INC. ISBN 0-471-02309-4. 254 pp.
- Alonso, S.I. & A. Peretti.** 1995. Germination and seedling growth in *Brisa subaristata* at different light, temperature and substrate conditions. *Seed Science and Technology* 23 (3): 794-800.
- Andrés, A. & E. Quiroga.** 2010. Variabilidad genética en poblaciones de *Trichloris crinita* del Chaco Arido argentino. *Revista Argentina de Producción Animal* 30 (Supl. 1): 287-288, resumen.
- Aulicino, M.B. & M.J. Arturi.** 2002. Phenotypic diversity in Argentinian populations of *Bromus catharticus* (Poaceae). Genetic and environmental components of quantitative traits. *New Zealand Journal of Botany* 40: 223-234.
- Baker, H.G.** 1989. Some Aspect of the Natural History of Seed Banks. *In: Ecology of Soil Seed Banks*. Leck, M.A., V.T. Thomas, and R.L. Simpson (eds.). San Diego, California, USA. 1989. Academic Press (Ed.). pp 9-21.
- Bandera, R., N. Bertram, A. Bolleta, S. Chiacchiera, J.M. Ferri, G. Galíndez, A. Lauric, G. Malagrina, J. Otondo, H. Petruzzi, N. Stritzler & C. Torres Carbonell.** 2013. Las gramíneas forrajeras megatérmicas en la región templada de Argentina. Bertin, O (ed). INTA. 46 pp.
- Beuselinck, P.R. & R.L. Mcgraw.** 1983. Seedling vigor of three *Lotus* species. *Crop Science* 23: 390-391.
- Berdahl, J.D. & R.E. Barker.** 1984. Selection for improved seedling vigor in Russian wild ryegrass. *Canadian Journal of Plant Science* 64: 131-138.
- Beveridge, L. & C.P. Wilsie.** 1959. Influence of depth of planting, seed size, and variety on emergence and seeding vigor in Alfalfa. *Agronomy Journal* 51: 731-734.
- Bewley, J.D. & M. Black.** 1994. *Seeds: Physiology of development and germination*. Plenum Press, New York. pp 236-246.

- Bird, E.** 2013. Effects of soil nitrogen enrichment on the germination, biomass production, and development of plant communities in the Lake Michigan sand dunes. Report to the Flora Richardson Foundation. 34 pp. <http://www.florarichardson.com/Eric%20Bird%20Final%20Report-PUC.pdf>.
- Bolaños, V.A., M.C. Vecchio & R.A. Golluscio.** 2015. Dormición y tipo de suelo como determinantes de la germinación y establecimiento de *Chloris berroi* en la Pampa Deprimida. *Ecología Austral* 25: 75-80.
- Bóo, R.M., D.V. Peláez, S.C. Bunting, O.R. Elia & M.D. Mayor.** 1996. Effect of fire on grasses in central semi-arid Argentina. *Journal of Range Management* 32: 259-269.
- Bouyoucos, G.** 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal* 54: 464-465.
- Bray RH, Kurtz LT.** 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphate in soils. *Soil Science* 59: 39-45.
- Bresciani, J.C. & R.V. Frakes.** 1973. Componentes de rendimiento y rendimiento en semilla en 26 clones de lotera, *Lotus corniculatus* L. *Agricultura Técnica* 33: 209-213.
- Briske, D.D. & J.H. Richards.** 1995. Plant responses to defoliation: a physiological, morphological and demographic evaluation. En: (D.J. Bedunah and R.E. Sosebee Eds). *Wildland Plants: Physiological Ecology and Developmental Morphology*. Society for Range Management, Colorado, USA. 710 pp.
- Burton, G.W. & E.H. DeVane.** 1953. Estimating heritability in tall fescue (*Festuca arundinacea*) from replicated clonal material. *Agronomy Journal* 45: 478-481.
- Busso, C.A. & G.L. Bonvissuto.** 2009. Soil seed bank in and between vegetation Patches in arid Patagonia, Argentina. *Environmental and Experimental Botany* 67: 188-195.
- Busso, C.A. & O.A. Fernández.** 2018. Arid and Semiarid Rangelands in Argentina. En: *Climate Variability Impacts on Land Use and Livelihood in Drylands*. Mahesh K. Gaur y Victor R. Squires (Eds.). p. 261-292. SPRINGER, New York, U.S.A. 348 p. eBook ISBN 978-319-56681-8, Hardcover ISBN 978-3-319-56680-1. <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-56681-8>
- Busso, C.A., H.D. Giorgetti, O.A. Montenegro & G.D. Rodríguez.** 2004. Perennial grass species richness and diversity on Argentine rangelands recovering from disturbance. *φYTON* 73: 9-27.
- Cabrera, A.** 1968. Flora de la Provincia de Buenos Aires. Colección Científica del INTA IV 1, Buenos Aires, 623 pp.

- Cabrera, A.** 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Fascículo 1, tomo II, segunda Edición. Editorial ACME S.A.C.T.
- Camarão, A.P. & J.R.F. Marques.** 1995. Gramíneas nativas de terra inundável do trópico úmido brasileiro. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1995. 62 pp. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 81)
- Campbell, C.S., J.A. Quinn, G.P. Cheplick & T.J. Bell.** 1983. Cleistogamy in grasses. *Annual Review of Ecology and Systematics* 14: 411-441.
- Cano, E.** 1988. Pastizales naturales de La Pampa. Descripción de las especies más importantes. Convenio AACREA - Provincia de La Pampa, Argentina, 438 pp.
- Cangiano, C.A. & J.C. Mombelli.** 1977. Efecto del descanso otoñal con dos frecuencias de corte sobre la producción de materia seca en pasto llorón (*E. curvula* Nees) cv. Tanganyika. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 2-13 (3): 105-116.
- Casalla, H., L.J. Entio, M.M. Mujica, H. Giorgetti, O.A. Montenegro, G.D. Rodríguez & C.A. Busso.** 2010. Variabilidad del comportamiento de la germinación bajo dos regímenes de temperatura en poblaciones naturales de *Pappophorum subbulbosum*. En: Actas Jornadas de Mejoramiento Genético de Forrajeras, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales – UNLP. p 166, resumen.
- Casler, M.D.** 1998. Genetic variation within eight populations of perennial forage grasses. *Plant Breeding* 117: 243-249.
- Casler, M.D.** 2005. Ecotypic variation among switchgrass populations from the Northern USA. *Crop Science* 45: 388-398.
- Cavagnaro, P.F., J.B. Cavagnaro, J.L. Lemes, R.W. Masuelli & C.B. Passera.** 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.
- Chambers J.C. & J.A. MacMahon.** 1994. A day in the life of a seed: movements and fates of seeds and their implications for natural and managed systems. *Annual Review of Ecology Systematic* 25: 263-292.
- Chilo, G., A. Molina, O. Sarapura, N. Del Castillo, F. Soria & M. Ochoa.** 2013. Tratamientos para romper dormancia en especies nativas forrajeras en la provincia de Salta. En: Actas XXXIV Jornadas Argentinas de Botánica. Boletín Sociedad Argentina de Botánica 48 (Supl): 248-249, resumen.
- Collado, M.B. & M.M Mujica.** 2002. Aprovechamiento de la heterosis y rol de dos caracteres determinantes del vigor de las plántulas de *Lotus glaber*. Actas del XXI Congreso Argentino de Genética, La Plata, Argentina. p 122, resumen.
- Correa, R.J., A. Quiroga & P.H. Watkins.** 2002. Valor Nutritivo Estival de Especies Forrajeras Herbáceas del Pastizal Natural de la Subcuenca del Río Los Puestos,

Ambato, Catamarca. En: Actas Congreso Regional de Ciencia y Tecnología NOA (Sección: Ciencias de la Ingeniería, Agronomía y Tecnología). Sec. de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de Catamarca. 10 pp.

- Covas, G.** 1974. Los pastos sudafricanos en relación a la forrajicultura en La Pampa, con especial referencia al pasto llorón (*Eragrostis curvula*). Simposio sobre Pasto Llorón en la Provincia de La Pampa. pp 1-10.
- Covas, G.** 1991. El pasto llorón. Su biología y manejo. Introducción del pasto llorón en la República Argentina. Ed.: Fernández, O.A., R.E. Brévedan & A.C. Gargano. UNS, Bahía Blanca, Bs. As. pp. 1-6.
- Cubero, J.I.** 2003. Introducción a la Mejora Genética Vegetal. 2da edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 567 pp.
- Cubero, J.I.** 2013. Introducción a la mejora genética vegetal. 3ra edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 569 p.
- Daubenmire, R.** 1959. A canopy cover method of vegetational analysis. Northwest Science 33: 43-66.
- Deregibus, V.A.** 1988. Importancia de los pastizales naturales en la República Argentina: situación presente y futura. Revista Argentina de Producción Animal 8 (1): 67-78.
- Díaz, H.B., E.D. Lagomarsino, I.R. Prete & J.C. Rodríguez Rey.** 1970. Productividad de las pasturas naturales de las zonas ganaderas de Tucumán. Revista Agronómica del Noroeste Argentino 7 (3-4): 675–726.
- Díaz, M., V. Echenique, G. Schrauf, S. Cardone, P. Polci, E. Lutz & Spangenberg, G.** 2004. Biotecnología y mejoramiento genético de especies forrajeras. Revista de Investigaciones Agropecuaria 33 (3): 77-104.
- Di Rienzo J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Tablada & M. Robledo, C. W.** InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar> (fecha de consulta: 20/05/2012).
- Distel, R.A. & R.M. Bóo.** 1996. Vegetation states and transitions in temperate semiarid rangelands of Argentina. En: Proceedings of the Fifth International Rangeland Congress. Salt Lake City, Utah, USA. pp. 117-118, resumen.
- Dobarro, I., F. Valladares & B. Peco.** 2010. Light quality and not quantity segregates germination of grazing increasers from decreasers in Mediterranean grasslands. Acta Oecológica 36: 74-79.
- Echenique, V., S. Pessino, M. Díaz, J.P. Selva, G. Luciani, D. Zappacosta, G. Cervigni, M. Meier, I. Garbus, S. Cardone, R. Miranda & Spangenberg, G.** 2008. Aportes de la biotecnología al mejoramiento del pasto llorón (*Eragrostis curvula*). Revista Argentina de Producción Animal 28 (2): 147-164.

- Entio, L.J. & M.M. Mujica.** 2011. Resiembra natural en *Lotus tenuis* implantado en diferente sistema de Siembra. Natural reseeding of *Lotus tenuis* established by different sowing system. Revista Agrocienza del Colegio de Postgraduados, México 45 (4): 431-441.
- Entio, L.J., M.M. Mujica & H. Casalla.** 2011. Variabilidad entre poblaciones naturales en la germinación de *Pappophorum vaginatum*. Revista Argentina de Producción Animal 31 (Supl. 1): p 452, resumen.
- Entio L.J., Mujica M.M., Busso C., Torres Y., Montenegro O., Ithurrart L., Toribio M., Giorgetti H., Rodríguez G., Bentivegna D., Bredan R., Fernández O., Baioni S., Fioretti M. & Tucacat G.** 2012. Efecto de la luz sobre la germinación de dos poblaciones naturales de *Pappophorum vaginatum*. En: Actas Jornadas Latinoamericanas de Recursos Genéticos, Mejoramiento y Biotecnología de Especies Forrajeras. p 108, resumen.
- Entio, L.J., M.M. Mujica & C. Busso.** 2014a. Posible rol de las hormigas en la dinámica del banco de semillas de *P. vaginatum* Buckley. Revista Argentina de Producción Animal 34 (Supl.1): p 480, resumen.
- Entio, L. J., M. M. Mujica, C. Busso, H. Giorgetti & G. Rodríguez.** 2014b. Efecto de la luz sobre la germinación en poblaciones naturales de *Pappophorum vaginatum* Buckley. Revista Argentina de Producción Animal 34 (Supl.1): p 480, resumen.
- Entio, L.J., M.M. Mujica, C. Busso, H. Giorgetti & G. Rodríguez.** 2014c. Variabilidad en caracteres de plántula en la etapa de crecimiento inicial en poblaciones naturales de *Pappophorum vaginatum* Buckley. Revista Argentina de Producción Animal 34 (Supl. 1): p 481, resumen.
- ESCONET.** 2009. Manual para la Recolección de Semillas de Especies Silvestres.
- Exner, E., J.M. Zabala & J.F. Pensiero.** 2010. Variación en la fenología de la floración y en el éxito reproductivo en *Setaria lachnea*. Agrocienza 44: 779-789.
- Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP (Estación Experimental J. Hirschhorn-EEJH).** 2013. Boletín Agrometeorológico Mensual (Climatología y Fenología Agrícola). 12 pp.
- Falconer, D.S. & T.F.C. Mackay.** 1996. An introduction to quantitative genetics. 4th ed. Longarm, Burnt Mill, Harlow, U.K. 1ra reimpresión 2006 de la edición en lengua española. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 469 pp.
- Fenner, M. & K. Thompson.** 2005. The Ecology of Seeds. Cambridge University Press, UK. 260 pp.
- Ferrando, C.A., L. Blanco, F. Biurrun, V. Burghi & R. Ávila.** 2006. Porcentajes de proteína bruta de gramíneas forrajeras nativas del Chaco Árido. Revista Argentina de Producción Animal. 26 (Supl. 1): p 127, resumen.

- Ferri, C.** 2014. Gramíneas forrajeras perennes de crecimiento estival (C4) para la región Pampeana semiárida en el contexto de la intensificación ganadera y del cambio climático. En: Resultados finales proyectos de investigación científica y tecnológica orientados al desarrollo productivo provincial. 1ra edición. Ed. EdUNLPam. pp. 92-145.
- Gabutti, E.G., I.G. Cozzarín, M. Reynoso, M.J.L. Privitello, J. Pensiero & J.M. Zabala.** 2011. Caracterización agronómica de poblaciones nativas de *Trichloris crinita* y *T. pluriflora*. Revista Argentina de Producción Animal. 31 (Supl 1): p 574, resumen.
- Gallais, A.** 1984. Use of indirect selection in plant breeding. En: W. Lange, A.C. Zeven & N.G. Hogenboom (Eds) Efficiency in plant breeding. In: Proceedings 10th Congress of Eucarpia. Pudoc, Wageningen, p. 45–60.
- García, M.V, M.J. Arturi & O.E. Ansín.** 2001. Potencial de mejora en caracteres cuantitativos de *Paspalum dilatatum* Poir. en poblaciones del noreste bonaerense. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 104 (2): 105-111.
- García, M.V., M.J. Arturi & O.E. Ansín.** 2002. Variabilidad fenotípica y genética en poblaciones de pasto miel (*Paspalum dilatatum* Poir.). Agricultura Técnica 62 (2): 237-244.
- Garbulsky, M.F. & V.A. Deregibus.** 2004. FAO Argentina Country Pasture/Forage Resource Profile. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.
- Garner, E.R., M.E. Hershdorfer & B. Munda.** 2006. Notice of release of Pima Pappusgrass selected class of germplasm. Tucson (AZ): USDA Natural Resources Conservation Service Tucson Plant Materials Center.
- Gauch, H.G. Jr.** 1988. Model selection and validation for yield trials with interaction. Biometrics 44: 705-715.
- Gauch, H.G. Jr. & R.W. Zobel.** 1988. Predictive and postdictive success of statistical analyses of yield trials. Theoretical and Applied Genetics 76: 1-10.
- Gil Báez, C., R. Ordinola Agüero, R.D. Ernst & M.A. Ruiz.** 2015. Caracterización morfológica, biomasa aérea y calidad en distintas poblaciones de *Trichloris crinita*. Archivos de Zootecnia 64: 49–56.
- Giorgetti, H.D., O.A. Montenegro, G.D. Rodríguez, C.A. Busso, T. Montani, M.A. Burgos, A.C. Flemmer, M.B. Toribio & S.S. Horvitz.** 1997. The comparative influence of past management and rainfall on range herbaceous standing crop in east-central Argentina: 14 years of observations. Journal of Arid Environment 36 (4): 623-637.
- Giorgetti, H.D., O.A. Montenegro, G.D. Rodríguez & C.A. Busso.** 1998. Influencia de manejos previos en la Provincia Fitogeográfica del Monte: Densidad de plantas. En: Actas 22° Congreso Nacional de Producción Animal. p. 101, resumen.

- Giorgetti, H.D., O.A. Montenegro, G.D. Rodríguez & Busso, C.A.** 1999. Influencia de manejos previos en la Provincia Fitogeográfica del Monte: Porcentaje de cobertura. En: 19º Reunión de la Asociación Argentina de Ecología. p. 100, resumen.
- Giorgetti, H.D., E.E. Bontti, R.M. Bóo, G.D. Rodríguez, O.A. Montenegro, O.R. Elía & N. Kugler.** 2000a. Composición botánica de dietas de vacunos en la región del Monte de la Provincia de Buenos Aires. Revista Argentina de Producción Animal 20: pp.139-140, resumen.
- Giorgetti, H.D., O.A. Montenegro, G.D. Rodríguez & C.A. Busso.** 2000b. Frecuencia de especies herbáceas y leñosas en pastizales naturales del centro de Argentina recobrándose de disturbios. Revista Argentina de Producción Animal 20: pp. 138-139, resumen.
- Glewen, K.L. & K.P. Vogel.** 1984. Partitioning the genetic variability for seedling growth in sand bluestem into its seed size and seedling vigor components. Crop Science 24: 137–141.
- Gomez, K. & A. Gomez.** 1984. Statistical procedures for agricultural research with emphasis on rice. 2nd edition. John Willey and Sons, Inc. 680 pp.
- González, M., G. Galindez, A. Zapater, S. Sührling, F. Martínez-Galvez, C. Mamani, D. López-Sphar & P. Ortega-Baes.** 2015. Germinación de semillas de gramíneas de la provincia de Salta: efecto de la luz y lemma y pálea, bajo dos regímenes de temperatura. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 50 (Supl): p. 117, resumen.
- Gould, F.W.** 1966. Chromosome numbers of some mexican grasses. Canadian Journal of Botany 44(12): 1683-1696.
- Greco, S.A. & J.B. Cavagnaro.** 2002. Effects of drought in biomass production and allocation in three varieties of *Trichloris crinita* P. (Poaceae) a forage grass from the arid Monte region of Argentina. Plant Ecology 164:125-135.
- Greco, S.A. & J.B. Cavagnaro.** 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.
- Greco, S.A., C.E. Sartor & P.E. Villagra.** 2013. Minimum water input event for seedling emergence of three native perennial grasses of the Central Monte desert (Argentina) influenced by the effect of shade and the season of the year. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNCuyo) 45 (2): 197-209.
- Green, J.O, A.J. Corral & R.A. Terry.** 1971. Grass species and varieties. Relationships between stage of growth, yield and forage quality. Technical Report No. 8. Hurley: Grassland Research Institute.

- Guaita, M.S., H.H. Fernández & I.N. Tiranti.** 1989. Calidad forrajera de *Setaria leiantha* en estado reproductivo. Revista Universidad Nacional de Río Cuarto 9: 105-108.
- Guevara J.C., J.B Cavagnaro, O.R Estevez, H.N. Le Houerou & C.R. Stasi.** 1997. Productivity, management and development problems in the arid rangelands of the central Mendoza plains (Argentina). Journal of Arid Environment 35: 575-600.
- Gutiérrez, H.F, G.A. Richard, M. C. Cerino & J. F. Pensiero.** 2016. Sistema reproductivo de *Trichloris* (poaceae, chloridoideae, chlorideae). Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 51 (1): 111-122.
- Hanson, W.D.** 1963. Heritability. In: Statistical genetics and plant breeding. Hanson, W.D & H.F. Robinson (ed). National Academy of Science, Washington D.C. Publ n° 982: 125- 140.
- Hennessy, D.W.** 1980. Protein nutrition of ruminants in tropical areas of Australia. Tropical Grasslands 14: 260-265.
- Henson, P.R. & L.A Tayman.** 1961. Seed weights of varieties of birdsfoot trefoil as affecting seedling growth. Crop Science 1: 306-306.
- Herrera-C, F., W.R. Ocumpaugh, J.A. Ortega-S, J. Lloyd-Reilley, G.A. Rasmussen & S. Maher.** 2006. Improving germination in Windmillgrass Ecotypes. Rangeland Ecology and Management 59: 660-663.
- Holland, H.B., W.E. Nyquist & C.T. Cervantes-Martinez.** 2003. Estimating and interpreting heritability for plant breeding: An up date. Janes, J. (ed). John Wiley and Sons, Inc. Plant Breeding Reviews 22: 9-112.
- Hyder, D.N., A.C. Everson & R.E. Bement.** 1971. Seedling morphology and seedling failures with blue grama. Journal of Range Management 24: 287–292.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Bordenave (INTA Bordenave).** Información Agrometeorológica. Disponible en: <http://inta.gov.ar/documentos/informacion-agrometeorologica-1> Consultado en junio de 2012.
- INTA Informa.** 2013. Una forrajera promisoriosa para zonas marginales. Disponible en: <http://intainforma.inta.gov.ar/?p=16617>. (Consultado: 01/2018).
- Jain, S.K.** 1975. Population structure and the effect of breeding system. En O.H. Frankel (ed.) Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow. Cambridge University Press, London, England. pp. 15-36.
- Jain, S.K.** 1976. The evolution of inbreeding in plants. Annual Review of Ecology and Systematics 7: 469-495.
- Kalmbacher, R.S., S.H. West & F.G. Martin.** 1999. Seed dormancy and aging in *trichloris*. Crop Science, Madison 39 (6): 1847-1852.

- Kalton, R.R., A.G. Smit & R.C. Leffel.** 1952. Parent-inbred Progeny Relationships of Selected Orchardgrass Clones¹. *Agronomy Journal* 44 (9): 481-486.
- Kempton, R.A.** 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *The Journal of Agricultural Science* 103: 123-135.
- Kjeldahl, J.** 1883. Neue method zur bestimmung des stickstoffs en organischen korpern. *Zeitschrift für Analytische Chemie* 22: 366-382.
- Kloster, D., M.A. Ruiz & R.D. Ernst.** 2016. Germinación y crecimiento inicial de poblaciones de *Trichloris crinita* (LAG.) Parodi ante condiciones de estrés hídrico. *Semiárida (Revista de la Facultad de Agronomía - UNLPam)* 26 (1): 39-54.
- Kozub, P.C., K. Barboza, F. Galdeano, C.L. Quarín, J.B. Cavagnaro & P.F. Cavagnaro.** 2017. Reproductive biology of the native forage grass *Trichloris crinita* (Poaceae, Chloridoideae). *Plant Biology (Stuttg)* 19 (3): 444-453.
- Lamberto, S.** 1987. Vegetación Natural. En: Evaluación expeditiva del recurso suelo y uso y cobertura de la tierra en el sur de la Provincia de Buenos Aires (M. Gonzalez Uriarte, M. González, H. Kruger, S. Lamberto, G. Arbanesi y V.G. de Vercesi, comp.). Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi, Informe Técnico. pp. 51-53.
- López-Spahr, D., M. González, G. Galíndez & P. Ortega-Baes.** 2015. Germinación de semillas de *Cottea pappophoroides*: respuesta a la luz y a la presencia de lemma-pálea. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 50 (Supl.): 256, resumen.
- Loveless, M.D. & J.L. Hamrick.** 1984. Ecological determinants of genetic structure in plant populations. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15: 65-95.
- Maguire, J.D.** 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Crop Science* 2: 176-177.
- Maher, S. & J. Lloyd-Reilley.** 2010. Plant fact sheet for whiplash pappusgrass (*Pappophorum vaginatum*). USDA-Natural Resources Conservation Service, E. "Kika" de la Garza Plant Materials Center. Kingsville, TX.
- Mandak, B. & P. Pysek.** 2001. The effects of light quality, nitrate concentration and bracteoles on germination of different fruit types in the heterocarpous *Atriplex sagittata*. *Journal of Ecology* 89: 149-158.
- Marone, L., M.E. Horno & R. González del Solar.** 2000. Post-dispersal fate of seed in the Monte desert of Argentina: patterns of germination in successive wet and dry years. *Journal of Ecology* 88: 940-949.
- Marone, L., V.R. Cueto & V. Zapata.** 2003. Persistencia de Semillas de Gramíneas en bancos de suelo: efecto de la germinación y enmohecimiento. En: Actas XXIX Jornadas Argentinas de Botánica & XV Reunión Anual de la Sociedad Botánica de Chile. p. 185, resumen.

- Marshall, D.R. & A.H.D. Brown.** 1975. Optimum sampling strategies in genetic conservation. *In*: Frankel, O.H.; Hawkes, J.G. ed. Crop genetic resources for today and tomorrow. Cambridge, Cambridge University Press. pp. 53–80.
- Martin, G.O.(h).** 2005. Hacia un Manejo Racional del Pastizal Natural. Serie Didáctica de la FAZ – UNT: 69 pp.
- Martinez, M.L., T. Valverde & P. Moreno-Casasola.** 1992. Germination response to temperatura, salinity, light and depth of sowing of ten tropical dune species. *Oecologia* 92: 343-353.
- Martyniak, D., G. Żurek G. & K. Prokopiuk.** 2017. Biomass yield and quality of wild populations of tall wheatgrass [*Elymus elongatus* (Host.) Runemark], *Biomass & Bioenergy* 101: 21 – 29.
- Mayor M.D., R.M. Bóo, D.V. Peláez & O.R. Elía.** 2003. Seasonal variation of the soil seed bank of grasses in central Argentina as related to grazing and shrub cover. *Journal of Arid Environment* 53: 467–477.
- Mazer, S. & T.C. Schick.** 1991. Constancy of population parameters for life-history and floral traits in *Raphanus sativus* L. II. Effects of plant density on phenotype and heritability estimates. *Heredity* 45: 1888–1907.
- McDonald, E.D., R.R. Kalton & M.G. Weiss.** 1952. Interrelationships and relative variability among S_1 and open-pollination progenies of selected brome grass clones. *Agronomy Journal* 44: 20-25.
- McKean, S.J.** 1993. Manual de análisis de suelos y tejido vegetal (Una guía teórica y práctica de metodologías). Documento de trabajo N° 129. Laboratorio de Servicios Analíticos, Centro Internacional de Agricultura tropical. 103 pp.
- Medina, E.** 1977. Introducción a la ecofisiología vegetal. Secretaría General de la Organización de los Estados Unidos Americanos, Washington. 102 pp.
- Ministerio de Agroindustrias (provincia de Buenos Aires) (MA-BA).** Estación Agrometeorológica Chacra Experimental Patagones. Consultado en diciembre 2016.
- Minson, D.J.** 1981. Nutritional differences between tropical and temperate pastures. *In*: Morley, F.H.W. (ed.). *Grazing animals*: 143-157, Elsevier, N.Y.
- Moore, J.E. & W.E. Kunkle.** 1995. Improving forage supplementation for beef cattle. *In*: *Proceedings 6th Florida Ruminant Nutrition Symposium*. pp 65-74.
- Mora, S., A. Orozco, G. Ordoñez & O. Terenti.** 2005. Componentes del rendimiento en la producción de semillas de *Trichloris crinita* bajo diferentes condiciones de manejo. *Revista Argentina de Producción Animal* 25 (Supl. 1): 211, resumen.
- Mujica, M.M.** 2003. Variedad sintética “Aguapé” de *L. tenuis*. INASE, Exp-S01:0188177/2002. Título de propiedad otorgado a UNLP por Resolución N°

265/2003 (SEAGyP). Título N° 10749. Vigencia: hasta el 18 de septiembre de 2023. Técnica creadora M. M. Mujica.

- Mujica, M. M.** 2010a. Conf: “Estrategias de selección y rol de la mejora genética de especies nativas y naturalizadas para una ganadería pastoril sustentable”. Actas: “Jornadas de Mejoramiento Genético de Forrajeras”. Facultad de Cs. Agrarias y Forestales - UNLP. pp 59-62.
- Mujica, M.M.** 2010b. Conf “Estrategias y resultados de una experiencia de investigación tecnológica y mejoramiento genético en *Lotus tenuis*”. Actas: V Taller Interdisciplinario de Lotus: “Aspectos genéticos, Moleculares y Ecofisiológicos de *Lotus* spp y sus simbioses”. INTECH, Chascomús. pp 58-62.
- Nyquist, W.E.** 1991. Estimation of heritability and prediction of selection response in plant populations. *Critical Reviews in Plant Sciences* 10 (3): 235-322.
- Páez A., Busso C.A., Montenegro O.A., Rodríguez G.D. & Giorgetti H.D.** 2005. Seed weight variation and its effects on germination in *Stipa* species. *PHYTON* 74: 1-14.
- Pagano, E.M., B. Rosso, P. Rimieri & R.D. Ríos.** 2007. Aplicación de marcadores moleculares al estudio de la variabilidad genética en el género *Bromus*. En: Avances de investigación en recursos genético en el Cono Sur II, PROCISUR, IICA. pp 61-67.
- Passera, C.B., O. Borsetto, R.J. Candia & C.R. Stasi.** 1992. Shrub control and seeding influences on grazing capacity in Argentina. *Journal of Range Management* 45: 480-482.
- Pensiero, J.F.** 1986. Revision de las especies argentinas del genero *Pappophorum* (Gramineae : Eragrostoideae : Pappophoreae). (Revision of the Argentine species of the genus *Pappophorum* (Gramineae: Eragrostoideae: Pappophoreae). *Darwiniana* 27 (1-4): 65-87.
- Pensiero, J.F., G.D. Marino & G.E. Schrauf.** 1995. Características reproductivas de *Setaria lachnea* (Nees) Kunth (Poaceae, Paniceae). *Revista de la Facultad de Agronomía (UBA)* 15 (1): 59-66.
- Pensiero, J.F., H.F. Gutierrez & E. Exner.** 2005. Sistema de polinización y su efecto sobre la producción y el peso de semillas en nuevas especies sudamericanas del género *Setaria*. *Interciencia* 30 (8): 495-500.
- Pensiero, J.F., H.F. Gutierrez, E. Exner & J.M. Zabala.** 2011. Variación en caracteres de interés agronómico en poblaciones de *Setaria lachnea* (Nees) Kunt. *Agrociencia* 45: 699-709.
- Petruzzi, H.J., N.P. Stritzler, E.O. Adema, C.M. Ferri & J.H. Pagella.** 2003. Mijo perenne. Ediciones INTA. Publicación Técnica N° 51. 28 pp.

- Pistorale, S.M., L.A. Abbott & A. Andrés.** 2008. Diversidad genética y heredabilidad en sentido amplio en agropiro alargado, *Thinopyrum ponticum*. Ciencia e Investigación Agraria 35 (3): 259-264.
- Plassmann, K., N. Brown, J.M. Jones & G. Edwards-Jones.** 2008. Can atmospheric input of nitrogen affect seed bank dynamics in habitats of conservation interest?. The case of dune slacks. Applied Vegetation Science 11: 413-420.
- Pol, R.G., G.I. Pirk & L. Marone.** 2010. Grass seed production in the central Monte desert during successive wet and dry years. Plant Ecology 208: 65-75.
- Pons, T.L.** 1989. Breaking of seed dormancy by nitrate as a gap detection mechanism. Annals of Botany 63: 139-143.
- Pons, T.** 2000. Seed responses to light. En: Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities. Fenner, M (Ed). CAB International, New York. Vol 2. pp. 237-260.
- Pontes, L.S., P. Carrere, D. Andueza, F. Louault & J.F. Soussana.** 2007. Seasonal productivity and nutritive value of temperate grasses found in semi-natural pastures in Europe: responses to cutting frequency and N supply. Grass Forage Science 62: 485-496.
- Price, D.L. & M.D. Casler.** 2014. Predictive Relationships between Plant Morphological Traits and Biomass Yield in Switchgrass. Crop Science 54:637-645.
- Qualls, M. & C.S. Cooper.** 1968. Germination, growth and respiration rates of birdsfoot trefoil at three temperatures during the early non-photosynthetic stage of development. Crop Science 8: 758-760.
- Quinn, J.A. & J.D. Wetherington.** 2002. Genetic variability and phenotypic plasticity in flowering phenology in populations of two grasses. Journal of the Torrey Botanical Society 129: 96-106.
- Quiroga, R.E., L. Blanco & E. Oriente.** 2009. Evaluación de estrategias de rehabilitación de pastizales áridos. Ecología Austral 19: 107-117.
- Quiroga, R.E.** 2011. Variación morfológica en once poblaciones del pasto nativo *Trichloris crinita*. Revista Argentina de Producción Animal 31 (Sup.1): p. 539, resumen.
- Ramakrishnan, A.P., S.E. Meyer, J. Waters, M. Stevens, C.E. Coleman & D.J. Fairbanks.** 2004. Correlations between molecular markers and adaptively significant genetic variation in *Bromus tectorum* (Poaceae), an inbreeding annual grass. American Journal of Botany 91: 797-803.
- Reeder, J.R. & D.N. Singh.** 1968. Chromosome numbers in the tribe *Pappophoreae* (Gramineae). Madroño 19 (5): 183-187.

- Robinson, H.F., R.E. Comstock & P.H. Harvey.** 1955. Genetic variances in open pollinated varieties of corn. *Genetics* 40: 45-60.
- Rosengurtt, B.** 1984. Gramíneas cleistógamas de Uruguay. *Boletín Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo* 134: 1-27.
- Rúgolo de Agrasar Z., P.E. Steibel & H.O. Troiani.** 2005. Manual ilustrado de las gramíneas de la Provincia de La Pampa. 1ra. Ed. La Pampa. Santa Rosa: Editorial de la Univ. Nac de La Pampa; Córdoba, Río Cuarto; Editorial de la Univ. Nac de Río Cuarto. 374 pp.
- Sanchez, R.M., N.A. Pezzola & J.V. Cepeda.** 1998. Caracterización edafoclimática del área de Influencia del INTA E.E.A Hilario Ascasubi. *Boletín de divulgación N°18 (ISSN 0328-3321)*. 72 pp.
- Sanford, W. & E. Wangari.** 1985. Los pastizales tropicales: su dinámica y utilización. *La naturaleza y sus recursos, UNESCO* 21 (3): 12-27
- Schrauf, G. E., A. Martino, J. Giavedoni & J. F. Pensiero.** 1998. Efectos genéticos y ambientales sobre el comportamiento germinativo de poblaciones de Moha perenne. *Ecología Austral* 8: 49-56.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN).** Información Meteorológica. Disponible en: <https://www.smn.gov.ar/caracterizaci%C3%B3n-estad%C3%ADsticas-de-largo-plazo> . Consultado en noviembre 2017.
- Silva Colomer J., J.B. Cavagnaro, L. Lemes & M. Medero.** 1989. Productivity and nutritive values in three ecotypes of *Trichloris crinita*, native forage grass of the arid zones of Argentina. In: *Proceedings of XVI International Grassland Congress*. pp 815-816, abstract.
- Simpson, R.L., M.A. Leck & V.T. Parker.** 1989. Seed Banks: General Concepts and Methodological Issues. En: *Ecology of Soil Seed Banks*. Leck, M.A., V.T. Thomas & R.L. Simpson (eds.). San Diego, California, USA. Academic Press (Ed.). pp. 3-8.
- Singh, M., S. Ceccarelli & J. Hamblin.** 1993. Estimation of heritability from varietal trials data. *Theoretical and Applied Genetics* 86: 437-441.
- Skinner, R.H. & C.J. Nelson.** 1994. Role of Leaf Appearance Rate and the Coleoptile Tiller in Regulating Tiller Production. *Crop Science* 34: 71-75.
- Smart, A.J. & L.E. Moser.** 1999. Switchgrass seedling development as affected by seed size. *Agronomy Journal* 91: 335-338.
- Smart, A.J., L.E. Moser & K.P. Vogel.** 2003. Establishment and Seedling Growth of Big Bluestem and Switchgrass Populations Divergently Selected for Seedling Tiller Number. *Crop Science* 43:1434-1440.

- Smethan, M.L.** 1990. Pasture Management. In: Langer R.H.M. (ed.) Pastures, their ecology and management. Auckland, New Zealand: Oxford University Press. pp.197–240.
- Smith, F.** 2010. Notice of release of Webb Germplasm Whiplash Pappusgrass selected plant material. Texas A&M University-Kingsville, Caesar Kleberg Wildlife Research Institute, South Texas Natives, USDA-NRCS E. “Kika” de la Garza Plant Materials Center, and Texas AgriLife Research Station at Beeville (signed). 16 pp.
- Smith, F.S., W. R. Ocumpaugh, J. Lloyd-Reilley, K. A. Pawelek, S. D. Maher, A. W. Scott Jr, & J. Garza.** 2010 b. Notice of release: Webb Germplasm Whiplash Pappusgrass (selected class of natural germplasm). Native plants 11(3): 275-282.
- Sokal, R.R. & F.J. Rohlf.** 1984. Introducción a la Bioestadística. Editorial Reverté S.A., Barcelona, España, 376 pp.
- Song, B.H., C.J. Nelson & J.H. Coutts.** 1990. Nitrogen effects on carbohydrate composition of tissues of two tall fescue genotypes. In 1990 Agronomy Abstracts. ASA, Madison, WI. p. 131.
- Soriano, A.** 1960. Germination of twenty dominant plants in Patagonia in relation to regeneration of the vegetation. In: Proceedings of the Eight International Grassland Congress, London. pp 154-158, resumen.
- Spara, F., L. Abbott, R. Wolff & E. Vernengo.** 2014. Estimación de parámetros genéticos y su utilidad para la selección por producción de semilla en *Phalaris aquatica* L. BAG, Journal of basic applied genetics 25 (1): 31-40.
- Stanfield, W.D.** 1971. Genética. Teoría y 400 Problemas Resueltos. Serie Schaum. McGraw Hill. México. 405 pp.
- StatPoint Technologies (Inc).** 2012. Statgraphics Centurion XVI versión 16.1.18 (32-bits). www.statgraphics.com
- StatSoft, Inc.** (2005). STATISTICA (data analysis software system), version 7.1. www.statsoft.com.
- Stebbins, G.L.** 1950. Variation and evolution in plants. The Columbia Biological Series. Editorial Columbia University, Nueva York, USA. 643 pp.
- Stebbins, G.L.** 1957. Self-fertilization and population variability in the higher plants. The American Naturalist 91: 337-54.
- Stritzler, N.P., J.H. Pagella, V.V. Jouve, & C.M. Ferri.** 1996. Semi-arid warm season grass yield and nutritive value in Argentina. Journal of Range Management 49:121-125.
- Stritzler, N.** 2008. Producción y calidad nutritiva de especies forrajeras megatérmicas. Revista Argentina de Producción Animal 28 (2): 165-168.

- Thomas, R.L.** 1966. The influence of seed weight on seedling vigour in *Lolium perenne*. *Annals of Botany* 30: 111-121.
- Tigerstedt, P.M.A.** 1994. Adaptation, variation and selection in marginal areas. *Euphytica* 77: 171-174.
- Toll Vera, J.R., G.O. (h) Martín, E.D. Lagomarsino, M.M. Fernández & M.G. Nicosia.** 2003. Caracterización nutricional de diferidos de gramíneas subtropicales perennes estivales, en el este de Tucumán. Cátedra de Forrajicultura - Fac. de Agronomía y Zootecnia de la U.N.T. 7 pp.
- Torres Y.A., C.A. Busso, O.A. Montenegro, H.D. Giorgetti, G.D. Rodríguez, T. Montani & A. Maidana.** 2008. Phenology of warm-season forage genotypes in rangelands of southwestern Buenos Aires. *Biocell (Sup)* 32: p. 197, resumen.
- Torres Y.A., C.A. Busso, O.A. Montenegro, H.D. Giorgetti, G. Rodríguez & L. Ithurrart.** 2013a. Plant traits contributing to the performance of native and introduced rangeland grasses in arid Argentina. En: From seed germination to young plants. Ecology, growth and environmental influences. (C.A. Busso Ed.). 1a ed. Nova Science Publishers, Inc. New York, U.S.A. 369 pp.
- Torres, Y.A., C.A. Busso, O.A. Montenegro, L. Ithurrart, H.D. Giorgetti, G.D. Rodríguez, D. Bentivegna, R.E. Brevedan, O.A. Fernández, M.M. Mujica, S. Baioni, J. Entio, M. Fioretti & G. Tucat.** 2013b. Plant growth and survival of five perennial grass genotypes exposed to various defoliation managements in arid Argentina. *Grass and Forage Science* 69: 580-595.
- Tyler, B.F. K.H. Chorlton & I.D. Thomas.** 1987. Preliminary screening of forage grasses. En: Collection, characterization and utilization of genetic resources of temperate forage grass and clover. IBPGR, Rome. pp. 13-24.
- Vencovsky, R.** 1987. Herança quantitativa. In: Paterniani, E. (ed). Melhoramento e Produção do Milho no Brasil. Edição da Fundação Cargill. Instituto de Genética, Esc. Sup. Agricultura Luis de Queiroz, Universidad de São Paulo. Piracicaba. São Paulo. pp. 122-199.
- Vencovsky, R. & P. Barriga.** 1992. Genética Biométrica no fitomelhoramento *Revista Brasileira de Genética*. 496 pp.
- Veneciano, J.H., M.A. Rosa & J.D. Givietti.** 1994. La introducción de germoplasma forrajero en San Luis. Una somera descripción de recursos promisorios. EEA San Luis, INTA – Forrajeras Avanzadas.
- Veneciano, J.H. & O.A. Terenti.** 1997. Efectos de la defoliación y la fertilización nitrogenada en el rendimiento y calidad de *Digitaria eriantha* Steudel subsp. *erianta* cv. Irene. *Revista Facultad de Agronomía (UNLPam)* 9: 41-55.
- Veneciano, J.H.** 2006. Gramíneas estivales perennes para ambientes semiáridos: Características y productividad. Información Técnica N° 171. Estación Experimental Agropecuaria San Luis. Publicaciones Regionales INTA. 84 p.

- Vera, R.R., H. Irazoqui & E.E. Menvielle.** 1973. The nutritive value of weeping lovegrass during the spring season. *Grass and Forage Science* 28: 149–152.
- Walkley, A & I.A. Black.** 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- Waters, C.M. & N.L. Shaw.** 2003. Developing native grass seed industries for revegetation in Australia and the Western United States: a contrast in production and adoption. In: *Proceedings of the VIIth International Rangelands Congress*. Durban, South Africa.
- Weis, A.E. & T.M. Kossler.** 2004. Genetic variation in flowering time induces phenological assortative mating: quantitative genetic methods applied to *Brassica rapa*. *American Journal of Botany* 91 (6): 825-836.
- West, S.H. & F. Marousky.** 1989. Mechanism of dormancy in *Pensacola bahiagrass*. *Crop Science* 29: 787-791.
- Whiteman, P.C. & K. Mendra.** 1981. Effects of storage and seed treatments on germination of *Brachiaria decumbens*. *Seed Science and Technology* 10: 233-242.
- Wilson, A.M., D.N. Hyder & D.D. Briske.** 1976. Drought resistance characteristics of blue grama seedlings. *Agronomy Journal* 68: 479-484.
- Wright, H. A. & A.W. Bailey.** 1982. *Fire Ecology: United States and Southern Canada*. New York: John Wiley and Sons, Inc. 528 p.
- Yang, Z., K. Sugawara, I. Ito, J. Maruyama & K. Fukunaga.** 1988. Factors Affecting the Regeneration of Pasture Vegetation by Natural Reseeding. *Tohoku Journal of Agricultural Research* 39: 1-7.
- Zabala, J.M., P. Widenhorn & J.F. Pensiero.** 2011. Germination patterns of species of genus *Trichloris* in arid and semiarid environments. *Seed Science & Technology* 39: 338-353.
- Zang, J. & M.A. Maun.** 1990. Seed size variation and its effects on seedling growth in *Agropyron psammophilum*. *Botanical Gazette* 151: 106-113.
- Zobel, R.W., M.J. Wright & H.G. Jr. Gauch.** 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal* 80: 388-393.

Tablas de ANOVA para las variables estudiadas

Capítulo 4

Tabla A1: Análisis de la varianza trifactorial utilizando los días desde la imbibición, las poblaciones y la luz como factores del porcentaje de germinación acumulada.

Factor	gl	CM	F	p-valor
Días desde la imbibición	3	3010,5	97,37	0,000000
Población	1	4317,5	139,64	0,000000
Luz	1	4442,2	143,67	0,000000
Días desde la imbibición * Población	3	435,8	14,09	0,000001
Días desde la imbibición * Luz	3	121,6	3,93	0,013744
Población * Luz	1	914,8	29,59	0,000002
Días desde la imbibición * Población * Luz	3	42,7	1,38	0,259976
Error	48	30,9		
Total	63			

Tabla A2 (a, b, c, d, e): Análisis de la varianza simple utilizando las poblaciones como factor de varios parámetros germinativos.

a) germinación acumulada

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	1	467,53	12,13	0,0037
Error	14	38,53		
Total	15			

b) índice de velocidad de germinación

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	1	61,26	75,48	0,0000
Error	14	0,811767		
Total	15			

c) tiempo hasta 50% de germinación

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	1	0,678	25,88	0,0002
Error	14	0,026		
Total	15			

d) antecios vacíos

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	1	40,41	2,68	0,124
Error	14	15,09		
Total	15			

e) antecios con cariósipide embebida pero no germinada

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	1	467,53	12,13	0,0037
Error	14	38,53		
Total	15			

Tabla A3: Análisis de la varianza multifactorial utilizando las poblaciones, los días desde la imbibición, la luz y las coberturas como factores del porcentaje de germinación acumulada.

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	7246	81,78	0,000000
Días desde la imbibición	3	3816	43,06	0,000000
Luz	1	11183	126,2	0,000000
Coberturas	1	9054	102,1	0,000000
Población * Días desde la imbibición	9	311	3,51	0,000482
Población * Luz	3	89	1,00	0,392905
Población * Coberturas	3	3044	0,57	0,634921
Días desde la imbibición * Luz	3	51	34,35	0,000000
Días desde la imbibición * Coberturas	3	166	1,87	0,136154
Luz * Coberturas	1	711	8,02	0,005110
Población * Días desde la imbibición * Luz	9	22	0,24	0,987635
Población * Días desde la imbibición * Coberturas	9	188	2,13	0,029052
Población * Luz * Coberturas	3	414	4,67	0,003559
Días desde la imbibición * Luz * Coberturas	3	51	0,57	0,633397
Población * Días desde la imbibición * Luz * Coberturas	9	86	0,98	0,461718
Error	192	89		
Total	255			

Capítulo 6

Tabla A4 (a, b, c): Análisis de la varianza simple utilizando las poblaciones como factor de varios parámetros germinativos.

a) germinación acumulada

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	324	4,65	0,015987
Error	16	69,6		
Total	19			

b) índice de velocidad de germinación

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	43,89	9,72	0,000685
Error	16	4,51		
Total	19			

c) tiempo hasta 50% de germinación

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	0,570	4,38	0,019584
Error	16	0,129		
Total	19			

Tabla A5 (a, b, c, d, e): Análisis de la varianza simple (en cinco fechas después de la siembra) utilizando las poblaciones como factor del porcentaje de emergencia acumulada.

a) 11 días después de la siembra

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	2447,96	5,05	0,002520
Error	116	484,62		
Total	119			

b) 14 días después de la siembra

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	2969,7	5,27	0,001906
Error	116	563,0		
Total	119			

c) 17 días después de la siembra

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	4051,8	5,74	0,001067
Error	116	705,7		
Total	119			

d) 20 días después de la siembra

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	4265,4	6,57	0,000383
Error	116	648,9		
Total	119			

e) 25 días después de la siembra

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	4265,4	6,57	0,000383
Error	116	648,9		
Total	119			

Tabla A6: Análisis de la varianza simple utilizando las poblaciones como factor del índice de velocidad de emergencia.

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	7,117	6,30	0,000535
Error	116	1,129		
Total	119			

Tabla A7 (a, b, c, d, e, f): Análisis de la varianza con diseño anidado del número de macollas reproductivas por planta para la fecha de muestreo (1) utilizando como factores los genotipos (filas) y las poblaciones y tomando los genotipos (filas) anidados en las poblaciones.

a) número de Macollas Reproductivas Totales

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	23,184	51,11	0,000000
Repetición (Población)	20	0,454	1,08	0,371701
Filas (Población)	32	1,033	2,45	0,000037
Bloque	1	4,889	11,61	0,000731
Error	359	0,421		
Total	415			

b) número de Macollas Reproductivas Grado 1

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	756,17	69,640	0,000000
Repetición (Población)	20	10,85	0,838	0,667222
Filas (Población)	32	29,11	2,247	0,000200
Bloque	1	509,99	39,358	0,000000
Error	359	12,96		
Total	415			

c) número de Macollas Reproductivas Grado 2

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	5,66644	18,13393	0,000006
Repetición (Población)	20	0,31214	0,68581	0,840717
Filas (Población)	32	0,59133	1,29924	0,133285
Bloque	1	0,70069	1,53951	0,215501
Error	359	0,45514		
Total	415			

d) número de Macollas Reproductivas Grado 3

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	2,03527	5,7058	0,005411
Repetición (Población)	20	0,35679	1,0982	0,348891
Filas (Población)	32	0,54320	1,6720	0,014460
Bloque	1	2,17251	6,6869	0,010107
Error	358	0,32489		
Total	414			

e) número de Macollas Reproductivas Grado 4

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	0,11340	0,6470	0,593873
Repetición (Población)	20	0,17523	0,9549	0,517345
Filas (Población)	32	0,40004	2,1799	0,000342
Bloque	1	0,83173	4,5323	0,033943
Error	358	0,18351		
Total	414			

f) número de Macollas Reproductivas Grado 5

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	0,5149	5,296	0,007470
Repetición (Población)	20	0,0973	1,559	0,060079
Filas (Población)	32	0,0697	1,116	0,308465
Bloque	1	0,1326	2,125	0,145797
Error	358	0,0624		
Total	414			

Tabla A8 (a, b, c, d): Análisis de la varianza con diseño de bloques completos al azar, utilizando los genotipos (filas) como factor, del número de Macollas Reproductivas (Totales, Grado 1, Grado 2, Grado 3 y Grado 4) por planta para cada población (P1, P2, P3, P4).

a) número de Macollas Reproductivas Totales

P1					P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	53,60	2,444	0,018881	Fila	8	32,16	3,408	0,001746
Bloque	1	158,67	7,236	0,008442	Bloque	1	540,87	57,306	0,000000
Error	95	21,93			Error	95	9,44		
Total	104				Total	104			

P3					P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	55,48	3,1157	0,036380	Fila	8	27,433	2,2831	0,028178
Bloque	1	0,07	0,0038	0,951195	Bloque	1	0,094	0,0078	0,929713
Error	94	17,81			Error	92	12,016		
Total	103				Total	101			

b) número de Macollas Reproductivas Grado 1

P1					P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	49,12	3,647	0,000962	Fila	8	13,916	1,768	0,092914
Bloque	1	187,40	13,915	0,000325	Bloque	1	706,917	89,835	0,000000
Error	95	13,47			Error	95	7,869		
Total	104				Total	104			

P3					P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	37,10	2,499	0,016616	Fila	8	17,827	1,5469	0,152174
Bloque	1	8,01	0,540	0,464377	Bloque	1	3,190	0,2768	0,600081
Error	94	14,85			Error	91	11,524		
Total	103				Total	100			

c) número de Macollas Reproductivas Grado 2

P1					P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	0,4885	0,37484	0,931529	Fila	8	1,72409	3,28111	0,023930
Bloque	1	0,7273	0,55800	0,456911	Bloque	1	0,46788	0,89043	0,347755
Error	95	1,3033			Error	95	0,52546		
Total	104				Total	104			

P3					P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	0,76880	1,52767	0,158049	Fila	8	0,21538	1,0868	0,379480
Bloque	1	2,27759	4,52574	0,036006	Bloque	1	0,23849	1,2034	0,275505
Error	94	0,50325			Error	92	0,19818		
Total	103				Total	101			

d) número de Macollas Reproductivas Grado 3

P1					P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	0,2129	1,3187	0,243655	Fila	8	1,01954	2,26952	0,028908
Bloque	1	0,0182	0,1126	0,737953	Bloque	1	2,26622	5,04466	0,027044
Error	95	0,1615			Error	94	0,44923		
Total	104				Total	103			

P3					P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	0,76880	1,52767	0,158049	Fila	8	0,21538	1,0868	0,379480
Bloque	1	2,27759	4,52574	0,036006	Bloque	1	0,23849	1,2034	0,275505
Error	94	0,50325			Error	92	0,19818		
Total	103				Total	101			

e) número de Macollas Reproductivas Grado 4

P1					P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	0,562029	2,59646	0,013030	Fila	8	0,41334	2,49882	0,016612
Bloque	1	0,443892	2,05069	0,155419	Bloque	1	1,24464	7,52427	0,007290
Error	95	0,216460			Error	94	0,16541		
Total	104				Total	103			

P3					P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	0,281833	1,56127	0,147041	Fila	8	0,210378	1,14135	0,343710
Bloque	1	0,092185	0,51068	0,476617	Bloque	1	0,368979	2,00180	0,160525
Error	94	0,180515			Error	91	0,184324		
Total	103				Total	100			

Tabla A9 (a, b, c, d): Análisis de la varianza con diseño de bloques completos al azar, utilizando los genotipos (filas) como factor, del número de Macollas Reproductivas Totales por planta para la fecha de muestreo (2) para cada población (P1, P2, P3, P4).

a) P1

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	0,2602	0,3028	0,963319
Bloque	1	0,1949	0,2268	0,635001
Error	97	0,8595		
Total	106			

b) P2

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	4,7823	8,1101	0,000000
Bloque	1	15,9666	27,0772	0,000001
Error	95	0,5897		
Total	104			

c) P3

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	7,787	1,2440	0,282245
Bloque	1	46,547	7,4366	0,007599
Error	96	6,259		
Total	105			

d) P4

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	5,605	0,8970	0,522357
Bloque	1	23,096	3,6957	0,057549
Error	95	6,249		
Total	104			

Tabla A10: Análisis de la varianza con diseño anidado del número de Macollas Reproductivas Totales por planta para la fecha de muestreo (2) utilizando como factores los genotipos (filas) y las poblaciones y tomando a los genotipos (filas) anidados en las poblaciones.

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	5,533	7,033	0,002052
Repetición (Población)	20	0,787	1,015	0,442814
Filas (Población)	32	1,626	2,098	0,000637
Bloque	1	3,016	3,892	0,049266
Error	366	0,775		
Total	422			

Tabla A11 (a, b): Análisis de la varianza con diseño anidado del área basal por planta registrada en la fecha de muestreo (3) y (4) utilizando como factores los genotipos (filas) y las poblaciones y tomando a los genotipos (filas) anidados en las poblaciones.

a) fecha de muestreo (3)

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	2,601	1,286	0,306246
Repetición (Población)	20	2,026	1,796	0,019750
Filas (Población)	32	2,278	2,020	0,001198
Bloque	1	43,335	38,417	0,000000
Error	354	1,128		
Total	410			

b) fecha de muestreo (4)

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	2,759	1,802	0,178599
Repetición (Población)	20	1,529	0,874	0,620671
Filas (Población)	32	3,919	2,241	0,000214
Bloque	1	6,683	3,821	0,051405
Error	351	1,749		
Total	407			

Tabla A12 (a, b): Análisis de la varianza con diseño de bloques completos al azar, utilizando los genotipos (filas) como factor, del área basal por planta para las fechas de muestreo (3) y (4) para cada población (P1, P2, P3, P4).

a) fecha de muestreo (3)

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	2,261	2,637	0,011988
Bloque	1	10,720	12,500	0,000639
Error	92	0,858		
Total	101			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	2,433	2,097	0,043724
Bloque	1	10,917	9,407	0,002831
Error	93	1,161		
Total	102			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	3,687	3,236	0,002723
Bloque	1	37,853	33,216	0,000000
Error	93	1,140		
Total	102			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	1,023	0,730	0,664570
Bloque	1	0,142	0,102	0,750574
Error	93	1,402		
Total	102			

b) fecha de muestreo (4)

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	2,498	1,437	0,192126
Bloque	1	6,851	3,940	0,050159
Error	91	1,739		
Total	100			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	6,191	3,451	0,001612
Bloque	1	0,413	0,230	0,632664
Error	92	1,794		
Total	101			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	3,296	2,251	0,030320
Bloque	1	0,963	0,658	0,419463
Error	93	1,464		
Total	102			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	3,735	1,959	0,060447
Bloque	1	7,714	4,046	0,047191
Error	92	1,906		
Total	101			

Tabla A13: Análisis de la varianza con diseño anidado del número de macollas con hojas verdes por planta utilizando como factores los genotipos (filas) y las poblaciones y tomando a los genotipos (filas) anidados en las poblaciones.

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	101,425	26,657	0,000000
Repetición (Población)	20	3,803	0,906	0,580059
Filas (Población)	32	7,108	1,693	0,012632
Bloque	1	50,112	11,934	0,000618
Error	354	4,199		
Total	410			

Tabla A14 (a, b, c, d): Análisis de la varianza con diseño de bloques completos al azar, utilizando los genotipos (filas) como factor, del número de macollas con hojas verdes por planta para cada población (P1, P2, P3, P4).

a) P1

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	7,084	2,1558	0,038141
Bloque	1	47,873	14,5682	0,000245
Error	92	3,286		
Total	101			

b) P2

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	6,837	1,6870	0,111838
Bloque	1	5,660	1,3966	0,240298
Error	93	4,053		
Total	102			

c) P3

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	2,678	0,7474	0,649562
Bloque	1	23,169	6,4663	0,012645
Error	93	3,583		
Total	102			

d) P4

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	0,7362	2,376	0,022447
Bloque	1	0,0148	0,048	0,827224
Error	93	0,3098		
Total	102			

Tabla A15: Análisis de la varianza con diseño anidado de la longitud de la lámina más larga por planta utilizando como factores los genotipos (filas) y las poblaciones y tomando a los genotipos (filas) anidados en las poblaciones.

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	4,341	35,74	0,000000
Repetición (Población)	20	0,121	0,82	0,688773
Filas (Población)	32	0,423	2,86	0,000001
Bloque	1	0,358	2,42	0,121073
Error	334	0,148		
Total	390			

Tabla A16 (a, b, c, d): Análisis de la varianza con diseño de bloques completos al azar, utilizando los genotipos (filas) como factor, de la longitud de la lámina más larga por planta para cada población (P1, P2, P3, P4).

a) P1

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	5,679	1,5180	0,162830
Bloque	1	0,021	0,0056	0,940454
Error	86	3,741		
Total	95			

b) P2

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	11,692	4,284	0,000249
Bloque	1	3,037	1,113	0,294636
Error	81	2,730		
Total	90			

c) P3

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	9,187	2,070	0,046606
Bloque	1	0,751	0,169	0,681759
Error	93	4,439		
Total	102			

d) P4

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8		3,762	0,000756
Bloque	1		2,817	0,096713
Error	91			
Total	100			

Tabla A17 (a, b, c, d): Análisis de la varianza con diseño de bloques completos al azar, utilizando los genotipos (filas) como factor, de la altura de planta para cada población (P1, P2, P3, P4).

a) P1

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	26,10	1,335	0,236443
Bloque	1	35,33	1,807	0,182215
Error	91	19,55		
Total	100			

b) P2

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	66,14	2,963	0,005381
Bloque	1	30,86	1,382	0,242711
Error	92	22,32		
Total	101			

c) P3

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	56,52	2,548	0,014816
Bloque	1	52,44	2,364	0,127570
Error	93	22,18		
Total	102			

d) P4

Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	20,86	0,908	0,513526
Bloque	1	85,40	3,717	0,056959
Error	92	22,98		
Total	101			

Tabla A18: Análisis de la varianza con diseño anidado de la altura de planta utilizando como factores los genotipos (filas) y las poblaciones y tomando a los genotipos (filas) anidados en las poblaciones.

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	380,0	14,233	0,000032
Repetición (Población)	20	26,7	1,254	0,207546
Filas (Población)	32	41,6	1,953	0,001990
Bloque	1	199,1	9,337	0,002418
Error	351	21,3		
Total	407			

Tabla A19 (a, b, c, d): Análisis de la varianza con diseño de bloques completos al azar, utilizando los genotipos (filas) como factor, del número de Macollas Reproductivas (Totales y Grado 1) por planta para cada población (P1, P2, P3, P4).

a) número de Macollas Reproductivas Totales por planta

P1					P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	10,806	0,8390	0,570855	Fila	8	24,245	2,9088	0,006150
Bloque	1	4,147	0,3219	0,571843	Bloque	1	43,141	5,1759	0,025225
Error	91	12,880			Error	92	8,335		
Total	100				Total	101			

P3					P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	12,981	1,1889	0,314224	Fila	8	18,885	1,9900	0,056263
Bloque	1	8,945	0,8192	0,367748	Bloque	1	58,749	6,1908	0,014641
Error	93	10,919			Error	92	9,490		
Total	102				Total	101			

b) número de Macollas Reproductivas Grado 1 por planta

P1					P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	5,285	0,9613	0,471198	Fila	8	15,09	2,4241	0,020079
Bloque	1	1,651	0,3003	0,585016	Bloque	1	141,69	22,7577	0,000007
Error	91	5,497			Error	92	6,22		
Total	100				Total	101			

P3					P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	13,021	1,8145	0,084021	Fila	8	9,36	1,6960	0,109785
Bloque	1	0,445	0,0620	0,803970	Bloque	1	117,67	21,3219	0,000013
Error	93	7,176			Error	92	5,51		
Total	102				Total	101			

Tabla A20 (a, b, c): Análisis de la varianza con diseño anidado del número de Macollas Reproductivas (Grado 1, Grado 2-5 y Totales) por planta utilizando como factores los genotipos (filas) y las poblaciones y tomando a los genotipos (filas) anidados en las poblaciones.

a) número de Macollas Reproductivas Grado 1

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	27,92	2,839	0,063680
Repetición (Población)	20	9,87	1,603	0,049336
Filas (Población)	32	10,91	1,774	0,007263
Bloque	1	151,83	24,676	0,000001
Error	351	6,15		
Total	407			

b) número de Macollas Reproductivas Grado 2-5

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	10,5406	9,6101	0,000380
Repetición (Población)	20	1,1010	1,8987	0,011802
Filas (Población)	32	0,6339	1,0932	0,338311
Bloque	1	1,7098	2,9487	0,086827
Error	351	0,5798		
Total	407			

c) número de Macollas Reproductivas Totales

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	38,08	1,762	0,186482
Repetición (Población)	20	21,70	2,207	0,002286
Filas (Población)	32	16,80	1,709	0,011359
Bloque	1	57,04	5,802	0,016524
Error	351	9,83		
Total	407			

Tabla A21 (a, b, c, d): Análisis de la varianza con diseño de bloques completos al azar, utilizando los genotipos (filas) como factor, de los caracteres reproductivos registrados en la fecha de muestreo (5) para cada población (P1, P2, P3, P4).

a) número de Macollas Reproductivas Totales por planta

P1					P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	43,91	0,7373	0,658357	Fila	8	4,115	4,979	0,000039
Bloque	1	126,62	2,1261	0,148173	Bloque	1	1,094	1,324	0,252899
Error	93	59,56			Error	91	0,827		
Total	102				Total	100			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	131,93	3,0009	0,004869
Bloque	1	95,43	2,1706	0,144049
Error	93	43,96		
Total	102			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	185,15	3,9056	0,000518
Bloque	1	52,26	1,1025	0,296447
Error	93	47,41		
Total	102			

b) longitud de panoja por planta

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	2,881	2,442	0,020000
Bloque	1	13,640	11,565	0,000996
Error	92	1,179		
Total	101			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	4,363	3,156	0,033650
Bloque	1	7,990	5,781	0,018230
Error	91	1,382		
Total	100			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	5,93	2,221	0,032599
Bloque	1	0,13	0,048	0,826551
Error	93	2,67		
Total	102			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	6,18	1,793	0,088300
Bloque	1	26,42	7,658	0,006818
Error	93	3,45		
Total	102			

c) número de antecios por panoja por planta

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	270,4	2,043	0,049726
Bloque	1	5349,1	40,410	0,000000
Error	92	132,4		
Total	101			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	677,8	3,355	0,002064
Bloque	1	0,0	0,000	0,996937
Error	91	202,1		
Total	100			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	3,773	2,382	0,022145
Bloque	1	1,615	1,020	0,315251
Error	93	1,584		
Total	102			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	1061,1	2,918	0,005980
Bloque	1	4092,7	11,253	0,001152
Error	93	363,7		
Total	102			

d) número de antecios por planta

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	62,98	0,946	0,483434
Bloque	1	1077,71	16,182	0,000118
Error	92	66,60		
Total	101			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	361,80	4,836	0,000055
Bloque	1	94,66	1,265	0,263616
Error	91	74,81		
Total	100			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	883028	1,7376	0,099903
Bloque	1	1494120	2,9401	0,089734
Error	93	508180		
Total	102			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	225,14	2,3203	0,025682
Bloque	1	36,60	0,3772	0,540613
Error	93	97,03		
Total				

Tabla A22 (a, b, c, d): Análisis de la varianza con diseño anidado de los caracteres reproductivos registrados en la fecha de muestreo (5) utilizando como factores los genotipos (filas) y las poblaciones y tomando a los genotipos (filas) anidados en las poblaciones.

a) número de Macollas Reproductivas Totales por planta

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	2,573	1,347	0,287428
Repetición (Población)	20	1,918	2,217	0,002156
Filas (Población)	32	2,584	2,987	0,000000
Bloque	1	0,007	0,008	0,930407
Error	353	0,865		
Total	409			

b) longitud de panoja por planta

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	80,06	14,232	0,000032
Repetición (Población)	20	5,63	1,072	0,377258
Filas (Población)	32	7,16	1,364	0,095068
Bloque	1	56,29	10,723	0,001163
Error	352	5,25		
Total	408			

c) número de antecios por panoja por planta

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	4,078	20,92	0,000002
Repetición (Población)	20	0,196	2,15	0,003078
Filas (Población)	32	0,219	2,41	0,000054
Bloque	1	2,191	24,11	0,000001
Error	352	0,091		
Total	408			

d) número de antecios por planta

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	1,78	1,32	0,295641
Repetición (Población)	20	1,36	2,82	0,000065
Filas (Población)	32	1,05	2,19	0,000312
Bloque	1	2,71	5,64	0,018136
Error	352	0,48		
Total	408			

Tabla A23. Análisis de la varianza con diseño de bloques completos al azar, utilizando los genotipos (filas) como factor, del número de macollas vegetativas por planta registrado en la fecha de muestreo (5) para cada población (P1, P2, P3, P4).

P1					P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	10,598	1,3236	0,241578	Fila	8	6,761	0,6884	0,700692
Bloque	1	34,823	4,3491	0,039767	Bloque	1	13,425	1,3669	0,245396
Error	93	8,007			Error	91	9,821		
Total	102				Total	100			

P3					P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	3,167	0,3012	0,963809	Fila	8	1,2973	1,2086	0,302646
Bloque	1	4,415	0,4198	0,518609	Bloque	1	5,8820	5,4796	0,021376
Error	93	10,515			Error	93	1,0734		
Total	102				Total	102			

Tabla A24: Análisis de la varianza con diseño anidado del número de macollas vegetativas por planta registrado en la fecha de muestreo (5) utilizando como factores los genotipos (filas) y las poblaciones y tomando a los genotipos (filas) anidados en las poblaciones.

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	5,0691	8,197	0,000904
Repetición (Población)	20	0,6196	1,229	0,227658
Filas (Población)	32	0,5500	1,091	0,341673
Bloque	1	0,4435	0,880	0,348893
Error	316	0,5040		
Total	372			

Tabla A25 (a, b, c, d, e): Análisis de la varianza con diseño de bloques completos al azar, utilizando los genotipos (filas) como factor, de la producción de biomasa seca aérea por planta (Corte 1, Corte 2, Corte 3, Corte 4 y Total acumulada) para cada población (P1, P2, P3, P4).

a) Corte 1

P1					P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	0,9898	2,271	0,028403	Fila	8	82,305	3,9169	0,000475
Bloque	1	6,4204	14,733	0,000220	Bloque	1	177,896	8,4661	0,004478
Error	98	0,4358			Error	98	21,013		
Total	107				Total	107			

P3					P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	43,49	1,0916	0,375590	Fila	8	21,24	0,7671	0,632415
Bloque	1	13,72	0,3445	0,558620	Bloque	1	5,90	0,2132	0,645271
Error	98	39,84			Error	98	27,69		
Total	107				Total	107			

b) Corte 2

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	54,852	2,1471	0,038265
Bloque	1	316,419	12,3859	0,000658
Error	98	25,547		
Total	107			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	63,519	3,4109	0,001688
Bloque	1	10,348	0,5557	0,457798
Error	98	18,623		
Total	107			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	47,58	1,2859	0,259658
Bloque	1	145,02	3,9196	0,050530
Error	98	37,00		
Total	107			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	47,67	1,4060	0,203480
Bloque	1	665,04	19,6147	0,000025
Error	98	33,91		
Total	107			

c) Corte 3

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	160,27	2,3200	0,025253
Bloque	1	2622,07	37,9572	0,000000
Error	98	69,08		
Total	107			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	332,75	3,3595	0,001920
Bloque	1	47,67	0,4813	0,489493
Error	98	99,05		
Total	107			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	71,80	0,5343	0,828112
Bloque	1	39,35	0,2928	0,589659
Error	98	134,39		
Total	107			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	147,59	2,6608	0,010966
Bloque	1	57,67	1,0397	0,310396
Error	98	55,47		
Total	107			

d) Corte 4

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	2,6114	2,7187	0,009504
Bloque	1	2,9140	3,0337	0,084689
Error	98	0,9605		
Total	107			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	9,805	4,2295	0,000218
Bloque	1	23,371	10,0811	0,002003
Error	98	2,318		
Total	107			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	0,809	0,3328	0,951409
Bloque	1	1,131	0,4649	0,496961
Error	98	2,432		
Total	107			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	0,2485	2,931	0,005611
Bloque	1	2,2776	26,858	0,000001
Error	98	0,0848		
Total	107			

e) Total acumulada

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	4,535	2,284	0,027573
Bloque	1	44,237	22,279	0,000008
Error	98	1,986		
Total	107			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	1175,3	3,6105	0,001024
Bloque	1	800,5	2,4591	0,120072
Error	98	325,5		
Total	107			

Factor	P3				Factor	P4			
	gl	CM	F	p-valor		gl	CM	F	p-valor
Fila	8	427,4	0,7396	0,656365	Fila	8	335,2	1,1748	0,322080
Bloque	1	245,7	0,4251	0,515920	Bloque	1	119,7	0,4196	0,518635
Error	98	577,9			Error	98	285,4		
Total	107				Total	107			

Tabla A27 (a, b, c, d, e): Análisis de la varianza con diseño anidado de la producción de biomasa seca aérea por planta (Corte 1, Corte 2, Corte 3, Corte 4 y Total acumulada) utilizando como factores los genotipos (filas) y las poblaciones y tomando a los genotipos (filas) anidados en las poblaciones.

a) Corte 1

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	16,897	6,519	0,002968
Repetición (Población)	20	2,592	4,765	0,000000
Filas (Población)	32	1,197	2,200	0,000280
Bloque	1	0,076	0,139	0,709594
Error	375	0,544		
Total	431			

b) Corte 2

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	1,638	0,498	0,687525
Repetición (Población)	20	3,287	4,843	0,000000
Filas (Población)	32	1,458	2,149	0,000421
Bloque	1	5,104	7,521	0,006390
Error	375	0,679		
Total	431			

c) Corte 3

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	9,733	1,327	0,293459
Repetición (Población)	20	7,333	9,900	0,000000
Filas (Población)	32	2,181	2,944	0,000000
Bloque	1	3,285	4,435	0,035879
Error	375	0,741		
Total	431			

d) Corte 4

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	3,2599	3,7319	0,027984
Repetición (Población)	20	0,8735	8,0003	0,000000
Filas (Población)	32	0,4149	3,8001	0,000000
Bloque	1	1,5572	14,2613	0,000185
Error	375	0,1092		
Total	431			

e) Total acumulada

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	23,42	1,720	0,195149
Repetición (Población)	20	13,62	8,351	0,000000
Filas (Población)	32	4,15	2,544	0,000016
Bloque	1	5,19	3,183	0,075213
Error	375	1,63		
Total	431			

Tabla A28 (a, b): Análisis de la varianza simples, utilizando (1) los cortes (C1, C2, C3, C4) y (2) las poblaciones (P1, P2, P3 y P4) como factor, de varios parámetros de calidad de la biomasa seca aérea de plantas: a) comparación de cortes dentro de poblaciones; b) comparación de poblaciones dentro de cada fecha de corte.

a) comparación de cortes dentro cada población

P1

Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	12,92	627,96	0,000000
Error	8	0,021		
Total	11			

Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	22,45	34,26	0,000065
Error	8	0,66		
Total	11			

Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	0,20037	36,597	0,000051
Error	8	0,00547		
Total	11			

Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	50,59	201,22	0,000000
Error	8	0,25		
Total	11			

P2

Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	11,011	369,3	0,000000
Error	8	0,030		
Total	11			

Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	9,01	21,60	0,000342
Error	8	0,42		
Total	11			

Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	0,05492	3,215	0,082890
Error	8	0,01708		
Total	11			

Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	5,01	15,71	0,001026
Error	8	0,32		
Total	11			

P3

Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	9,826	176,83	0,000000
Error	8	0,056		
Total	11			

Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	2,40	0,870	0,495400
Error	8	2,76		
Total	11			

Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	0,00327	0,186	0,902945
Error	8	0,01756		
Total	11			

Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	10,37	30,98	0,000094
Error	8	0,33		
Total	11			

P4

Proteína bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	9,733	176,19	0,000000
Error	8	0,055		
Total	11			

Fibra bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	13,10	32,15	0,000082
Error	8	0,41		
Total	11			

Grasa bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	0,17468	38,18	0,000044
Error	8	0,00457		
Total	11			

Extracto no nitrogenado				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	18,44	33,59	0,000070
Error	8	0,55		
Total	11			

b) comparación de poblaciones dentro cada fecha de corte

C1

Proteína bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	1,532	57,99	0,000009
Error	8	0,026		
Total	11			

Fibra bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	3,14	0,993	0,443964
Error	8	3,17		
Total	11			

Grasa bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	0,08836	4,869	0,032657
Error	8	0,01815		
Total	11			

Extracto no nitrogenado				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	7,58	14,25	0,001421
Error	8	0,53		
Total	11			

C2

Proteína bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	3,898	60,67	0,000008
Error	8	0,064		
Total	11			

Fibra bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	27,98	167,84	0,000000
Error	8	0,17		
Total	11			

Grasa bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	0,20252	111,48	0,000001
Error	8	0,00182		
Total	11			

Extracto no nitrogenado				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	1,03	5,29	0,026563
Error	8	0,19		
Total	11			

C3

Proteína bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	2,2447	129,38	0,000000
Error	8	0,0173		
Total	11			

Fibra bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	9,57	14,64	0,001298
Error	8	0,65		
Total	11			

Grasa bruta					Extracto no nitrogenado				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	0,05945	9,375	0,005368	Población	3	0,51	0,90	0,480850
Error	8	0,00634			Error	8	0,57		
Total	11				Total	11			

C4

Proteína bruta					Fibra bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	2,7613	51,93	0,000014	Población	3	8,67	34,61	0,000063
Error	8	0,0532			Error	8	0,25		
Total	11				Total	11			

Grasa bruta					Extracto no nitrogenado				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	0,12447	6,771	0,013793	Población	3	19,97	125,6	0,000000
Error	8	0,01838			Error	8	0,16		
Total	11				Total	11			

Tabla A29 (a, b): Análisis de la varianza simples, utilizando (1) los cortes (C1, C2, C3, C4) y (2) las poblaciones (P1, P2, P3 y P4) como factor, de varios parámetros de calidad de la biomasa seca aérea de plantas: a) comparación de cortes dentro de poblaciones; b) comparación de poblaciones dentro de cada fecha de corte.

a) comparación de cortes dentro cada población

P1

Total nutrientes digestibles					Ceniza bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	24,13	67,90	0,000005	Corte	3	38,843	204,239	0,000000
Error	8	0,36			Error	8	0,190		
Total	11				Total	11			

Energía metabolizable				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	0,03152	63,04	0,000007
Error	8	0,00050		
Total	11			

P2

Total nutrientes digestibles					Ceniza bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor	Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	0,40	1,7	0,238265	Corte	3	9,416	112,61	0,000001
Error	8	0,23			Error	8	0,084		
Total	11				Total	11			

Energía metabolizable				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	0,00057	1,9	0,209895
Error	8	0,00030		
Total	11			

P3

Total nutrientes digestibles				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	7,09	14,00	0,001505
Error	8	0,51		
Total	11			

Ceniza bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	6,1054	37,678	0,000046
Error	8	0,1620		
Total	11			

Energía metabolizable

Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	0,00957	14,53	0,001331
Error	8	0,00066		
Total	11			

P4

Total nutrientes digestibles				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	8,56	25,80	0,000182
Error	8	0,33		
Total	11			

Ceniza bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	7,796	201,50	0,000000
Error	8	0,039		
Total	11			

Energía metabolizable

Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	0,01103	24,51	0,000219
Error	8	0,00045		
Total	11			

b) comparación de poblaciones dentro cada fecha de corte

C1

Total nutrientes digestibles				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	7,15	17,59	0,000699
Error	8	0,41		
Total	11			

Ceniza bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	15,670	64,443	0,000006
Error	8	0,243		
Total	11			

Energía metabolizable

Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	0,00954	16,36	0,000894
Error	8	0,00058		
Total	11			

C2

Total nutrientes digestibles				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	13,25	43,97	0,000026
Error	8	0,30		
Total	11			

Ceniza bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	1,1751	40,99	0,000033
Error	8	0,0287		
Total	11			

Energía metabolizable				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	0,01708	41,82	0,000031
Error	8	0,00041		
Total	11			

C3

Total nutrientes digestibles				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	5,30	10,84	0,003427
Error	8	0,49		
Total	11			

Ceniza bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	0,4196	76,8	0,000003
Error	8	0,0055		
Total	11			

Energía metabolizable				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	0,00670	10,30	0,004019
Error	8	0,00065		
Total	11			

C4

Total nutrientes digestibles				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	8,65	37,5	0,000046
Error	8	0,23		
Total	11			

Ceniza bruta				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	5,613	28,457	0,000128
Error	8	0,197		
Total	11			

Energía metabolizable				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Corte	3	0,01132	42,4	0,000029
Error	8	0,00027		
Total	11			

Tabla A30 (a, b, c, d, e): Análisis de la varianza con diseño de bloques completos al azar, utilizando los genotipos (filas) como factor, de caracteres reproductivos registrados en la fecha de muestreo (8) para cada población (P1, P2, P3, P4).

a) número de Macollas Reproductivas Totales por planta

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	136,3	0,7946	0,608675
Bloque	1	624,7	3,6406	0,059438
Error	94	171,6		
Total	103			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	276,38	2,0736	0,046159
Bloque	1	802,16	6,0186	0,016019
Error	93	133,28		
Total	102			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	202,66	1,5486	0,151296
Bloque	1	453,39	3,4645	0,065860
Error	93	130,87		
Total	102			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	125,29	2,0977	0,043497
Bloque	1	10,33	0,1730	0,678381
Error	94	59,73		
Total	103			

b) número de Macollas Reproductivas Grado 5 por planta

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	64,68	0,8799	0,536504
Bloque	1	2,62	0,0357	0,850631
Error	94	73,51		
Total	103			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	115,69	1,2752	0,266104
Bloque	1	10,79	0,1189	0,730966
Error	92	90,72		
Total	101			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	2,546	2,508	0,016555
Bloque	1	0,017	0,017	0,897206
Error	90	1,015		
Total	99			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	74,27	2,3456	0,024261
Bloque	1	1322,18	41,7546	0,000000
Error	92	31,67		
Total	101			

c) número de Macollas Reproductivas Grado 4 por planta

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	128,34	2,4710	0,017773
Bloque	1	708,23	13,6363	0,000372
Error	94	51,94		
Total	103			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	2,645	4,0572	0,000357
Bloque	1	14,5411	22,3018	0,000008
Error	93	0,6520		
Total	102			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	3,039	2,1955	0,034498
Bloque	1	8,958	6,4716	0,012592
Error	94	1,384		
Total	103			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	64,577	3,7179	0,000824
Bloque	1	889,431	51,2073	0,000000
Error	93	17,369		
Total	102			

d) longitud de panoja por planta

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	2,35	0,926	0,498535
Bloque	1	16,53	6,525	0,012244
Error	94	2,53		
Total	103			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	5,04	2,694	0,010426
Bloque	1	0,03	0,018	0,894778
Error	92	1,87		
Total	101			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	5,34	1,636	0,125720
Bloque	1	0,99	0,304	0,582519
Error	90	3,26		
Total	99			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	8,40	4,489	0,000126
Bloque	1	23,37	12,483	0,000644
Error	92	1,87		
Total	101			

e) número de antecios por panoja por planta

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	123,2	0,471	0,873792
Bloque	1	3588,9	13,719	0,000358
Error	94	261,6		
Total	103			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	1383,9	4,746	0,000067
Bloque	1	0,0	0,000	0,990996
Error	92	291,6		
Total	101			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	1565,7	2,467	0,018282
Bloque	1	50,2	0,079	0,779168
Error	90	634,8		
Total	99			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	2288,8	6,007	0,000003
Bloque	1	9785,7	25,684	0,000002
Error	92	381,0		
Total	101			

f) número de antecios por planta

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	808100	0,7366	0,658973
Bloque	1	13980165	12,7427	0,000565
Error	94	1097108		
Total	103			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	3777019	2,5550	0,014622
Bloque	1	6735634	4,5564	0,035454
Error	92	1478280		
Total	101			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	1762394	0,8521	0,559811
Bloque	1	188460	0,0911	0,763457
Error	90	2068298		
Total	99			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	2620098	4,2223	0,000241
Bloque	1	3064594	4,9386	0,028714
Error	92	620536		
Total	101			

g) número de antecios germinables por planta

P1				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	377301	0,7366	0,658973
Bloque	1	6527323	12,7427	0,000565
Error	94	512238		
Total	103			

P2				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	1241404	2,5550	0,014622
Bloque	1	2213820	4,5564	0,035454
Error	92	485870		
Total	101			

P3				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	513914	0,8521	0,559811
Bloque	1	54955	0,0911	0,763457
Error	90	603116		
Total	99			

P4				
Factor	gl	CM	F	p-valor
Fila	8	1095441	4,2223	0,000241
Bloque	1	1281281	4,9386	0,028714
Error	92	259441		
Total	101			

Tabla A31 (a, b, c, d, e, f, g, h, i): Análisis de la varianza con diseño anidado de caracteres registrados en la fecha de muestreo (8) utilizando como factores los genotipos (filas) y las poblaciones y tomando a los genotipos (filas) anidados en las poblaciones.

a) número de Macollas Reproductivas Totales por planta

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	17,10	2,939	0,050078
Repetición (Población)	20	5,85	6,005	0,000000
Filas (Población)	32	1,85	1,903	0,002855
Bloque	1	3,04	3,124	0,077978
Error	357	0,97		
Total	413			

b) número de Macollas Reproductivas Grado 5 por planta

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	17,760	5,321	0,007316
Repetición (Población)	20	3,359	4,213	0,000000
Filas (Población)	32	1,441	1,807	0,005745
Bloque	1	5,623	7,053	0,008274
Error	351	0,797		
Total	407			

c) número de Macollas Reproductivas Grado 4 por planta

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	28,151	10,726	0,000202
Repetición (Población)	20	2,632	2,408	0,000734
Filas (Población)	32	3,011	2,754	0,000003
Bloque	1	1,042	0,953	0,329587
Error	358	1,093		
Total	414			

d) longitud de panoja por planta

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	1,374	12,70	0,000069
Repetición (Población)	20	0,109	2,02	0,006255
Filas (Población)	32	0,119	2,21	0,000283
Bloque	1	0,550	10,22	0,001517
Error	351	0,054		
Total	407			

e) número de antecios por panoja por planta

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	3,052	17,28	0,000009
Repetición (Población)	20	0,177	2,22	0,002155
Filas (Población)	32	0,234	2,92	0,000001
Bloque	1	1,572	19,66	0,000012
Error	351	0,080		
Total	407			

f) número de antecios por planta

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	1833,3	2,665	0,075539
Repetición (Población)	20	692,7	5,651	0,000000
Filas (Población)	32	258,0	2,105	0,000627
Bloque	1	162,8	1,328	0,249947
Error	351	122,6		
Total	407			

g) número de antecios germinables por planta

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	288,7	0,704	0,560841
Repetición (Población)	20	413,1	5,538	0,000000
Filas (Población)	32	156,1	2,094	0,000683
Bloque	1	134,0	1,796	0,181014
Error	351	74,6		
Total	407			

Tabla A32 (a, b, c): Análisis de la varianza simple, utilizando las poblaciones como factor, de varios parámetros germinativos de antecios cosechados en la fecha de muestreo (8).

a) germinación acumulada

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	259,28	3,93	0,023385
Error	20	65,90		
Total	23			

b) índice de velocidad de germinación

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	8,092	6,75	0,002498
Error	20	1,197		
Total	23			

c) tiempo hasta 50 % de germinación

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	5,5128	3,56	0,032651
Error	20	1,5483		
Total	23			

Tabla A33: Análisis de la varianza con diseño de bloques completos al azar, utilizando las poblaciones como factor, del porcentaje de supervivencia de plantas.

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	4	55,0	0,617	0,651413
Bloque	1	3,8	0,043	0,835906
Error	84	89,1		
Total	89			

Tabla A34 (a, b): Análisis de la varianza con diseño anidado de caracteres asociados a la resiembra natural utilizando como factores los genotipos (filas) y las poblaciones y tomando a los genotipos (filas) anidados en las poblaciones.

a) número de antecios germinables por m²

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	9,953011E+07	0,7586	0,530409
Repetición (Población)	20	1,319107E+08	5,1359	0,000000
Filas (Población)	32	4,881263E+07	1,9005	0,002926
Bloque	1	4,238528E+07	1,6503	0,199770
Error	352	2,568415E+07		
Total	408			

b) número de plántulas potenciales para la resiembra natural por m²

Factor	gl	CM	F	p-valor
Población	3	10930	5,756	0,005226
Repetición (Población)	20	1910	6,080	0,000000
Filas (Población)	32	634	2,019	0,001207
Bloque	1	154	0,491	0,484085
Error	352	314		
Total	408			

Publicaciones derivadas de la tesis

- Entio L.J., M.M. Mujica, C.A. Busso, Y.A. Torres & L.S. Ithurrart.** 2016. Light effects on seed germination of two spontaneous populations of *Pappophorum vaginatum*. SEMIARIDA (Rev. Fac. Agronomía UNLPam) 26 (2): 11-20.
- Entio, L.J., M.M. Mujica, C.A. Busso, Y.A. Torres, O. Montenegro, L.S. Ithurrart, H. Giorgetti, H., G. Rodríguez, D. Bentivegna, R. Brevedan, O. Fernández, S. Baioni, M. Fioretti & Tucac, G.** 2014. Variabilidad y correlaciones de caracteres vinculados al vigor de plántula en dos poblaciones naturales de *Pappophorum vaginatum* Buckley. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo. 46 (2): 223-230.