Mejoramiento de pastizales mediante la incorporación de nutrientes en el semiárido de La Pampa

Butti, L.; Campos, S.; Babinec, F.; Adema, E.

EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas"
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

Diseño Gráfico
Dis. Gráf. Francisco Etchart

Impresión
Gustavo J. Moyano
Luisa Blatner de Mayoral

Impreso en los talleres gráficos de la EEA INTA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas"
Tirada de 500 ejemplares
Mayo de 2012

EDICIONES INTA
EEA INTA Anguil Ing. Agr. Guillermo Covas
(6326) Anguil, La Pampa, Argentina.

resumen

La provincia de La Pampa tiene aproximadamente el 70% de su territorio ocupado por pastizales naturales distribuidos en los ecosistemas Caldenal y Monte Occidental. La principal actividad productiva en los mismos es la cría extensiva de ganado bovino, ovino y caprino en base a estos recursos forrajeros. A pesar de las severas limitaciones ambientales, la combinación de diferentes tecnologías permiten optimizar la oferta forrajera y alcanzar una producción sostenible, dentro de un marco ecológico frágil que exige una apropiada valoración de los recursos naturales de la región.

La presente publicación es una recopilación de experiencias realizadas por los autores sobre la incorporación estratégica de nutrientes en pastizales naturales de la región semiárida pampeana. En estas experiencias se estudiaron diversos aspectos de la productividad de forraje y semillas, calidad y composición del pastizal, así como el comportamiento del agua en el suelo en relación con la producción primaria, durante los años 2003 al 2008.

La incorporación de macronutrientes en otoño aumenta la producción y calidad de forraje de los pastizales de la región semiárida pampeana, con predominio de gramíneas mesotérmicas. El aumento en la eficiencia de uso del agua por las plantas es notoria en años húmedos, mientras que el uso consuntivo del agua es igual a la lluvia acumulada en igual período. En consecuencia, la producción del pastizal depende básicamente de las precipitaciones debido al escaso almacenamiento de agua en el suelo.

La fertilización estratégica de pastizales constituye una herramienta de manejo alternativa bajo condiciones hídricas propicias, pero debe estar asociada a otras tecnologías de manejo para garantizar la sustentabilidad de los pastizales.

Palabras clave: pastizal natural, fertilización.

summary

The province of La Pampa has about 70% of its territory occupied by natural grassland ecosystems distributed Caldenal and West Monte. The main activity in this area is the extensive breeding of cattle, sheep and goats on the basis of these feedstuffs. Despite the severe environmental constraints, the combination of different technologies to optimize forage supply and achieve sustainable production within a fragile ecological framework that requires a high valuation of natural resources in the region.

This publication is a compilation of experiences on the strategic incorporation of nutrients in natural grasslands of the Region semiarid pampeana performed by the authors. We studied aspects of forage and seed productivity, quality and composition of the grassland, and the behavior of water in the soil in relation to primary production during the years 2003 to 2008.

The addition of macronutrients in the fall increases the production and forage quality of grasslands in the Region Semiarid Pampeana, dominated by grasses mesotérmicas. The increased water use efficiency by plants is evident in wet years, while the consumptive use of water is equal to the accumulated rainfall during the same period. Consequently, grassland production depends mainly on rainfall due to low water storage in the soil.

The fertilization of grasslands is a strategic management tool enabling alternative low water conditions favorable and must be associated with other management technologies to ensure the sustainability of grasslands.

Keywords: grassland, fertilization.

introducción

La provincia de La Pampa tiene alrededor del 70% de su territorio ocupado por pastizales naturales (Frank *et al*., 1998). Este vasto territorio incluye los ecosistemas Caldenal (5.600.000 ha) y Monte Occidental (5.800.000 ha) (Subsecretaría de Ecología del Gobierno de La Pampa. 1998). La principal actividad productiva es la cría extensiva de ganado bovino, ovino y caprino, con pastizales naturales como principal recurso forrajero. El ecotono Caldenal-Monte Occidental presenta severas limitaciones climáticas y edáficas. En especial la escasez de precipitaciones, la alta evapotranspiración y el bajo grado de evolución de los suelos (bajo contenido de materia orgánica y capacidad de almacenamiento de agua) (Frank et al., 1998; Adema *et al*., 2001; Cerqueira *et al*., 2004). Estas limitaciones hacen que la zona tenga una baja productividad potencial (Adema *et al*., 1995).

La producción forrajera media anual de estos pastizales es aproximadamente 600 $Kg.ha^{-1}$ para una condición buena y 300 $Kg.ha^{-1}$ para una condición regular y ésta muestra alta correlación con las precipitaciones (Frank *et al*., 1998). Por su parte, Cano et al. (1988) encontraron en un arbustal de Larrea divaricata con un estrato de gramíneas bajas dominado por *Piptochaetium napostaense* y *Stipa tenuis* valores de fitomasa aérea que van de 602 $Kg.ha^{-1}$ a 1440 $Kg.ha^{-1}$, dependiendo del período de descanso.

La limitada producción de forraje asociada a los severos usos que realiza el ganado sobre el pastizal, especialmente en las épocas de sequía, frecuentes en la región, hacen necesaria la búsqueda de alternativas de manejo y tecnológicas que permitan aumentar la receptividad ganadera de los predios, sin afectar la sustentabilidad del recurso. Una forma de mejorar la productividad del pastizal natural es la fertilización. Diferentes trabajos demuestran aumentos significativos en la producción de pastizales con incorporación de nitrógeno y/o fósforo. Para optimizar la producción de pasto es necesario efectuar un eficiente aprovechamiento, integrando diferentes tecnologías tanto de manejo como de utilización de insumos. La fertilización resulta una práctica de gran impacto productivo en los pastizales, mejora la producción de materia seca y el valor nutritivo del forraje. Además representa una herramienta muy interesante para mejorar la productividad forrajera en ambientes desfavorables.

En un estudio realizado sobre un pastizal sammófilo del centro de la provincia de La Pampa, con dominancia de *Sorghastrum pellitum*, se observó una respuesta positiva a la fertilización con urea. Las distintas dosis de fertilizante aplicadas (entre 30 y 120 $Kg.ha^{-1}$) mostraron diferencias significativas en la producción del pastizal (Cano *et al*., 1985). Del mismo modo, Pinto et al. (1985) realizaron un ensayo de fertilización en un área medanosa con pastizal sammófilo en la provincia de La Pampa, dominado por *Bouteloua gracilis*. Las respuestas a la fertilización con fosfato diamónico más urea, fueron significativas cuando se aplicaron dosis de 30 y 60 $Kg.ha^{-1}$, a mayores dosis la especie respondió con menores incrementos relativos. Al respecto, Kelsey *et al.* (1973) determinaron que la fertilización con nitrógeno sobre *Bouteloua gracilis* aumentó el consumo voluntario, la digestibilidad de la materia seca y la proteína. Respuestas similares fueron encontradas por Houston and Van Der Sluijs (1973). Sin embargo, Bissio (1996) concluyó que la fertilización fosfatada y nitrogenada sobre un pastizal de *Schizachyrium paniculatum*, *Paspalum notatum* y *Paspalum urvillei*, no mejora los contenidos de proteína bruta pero sí la producción de estas gramíneas de verano.

Fernández Grecco (2001) encontró que las especies invierno-primaverales de la Pampa Deprimida ven limitado su crecimiento invernal debido a la escasez de formas asimilables de nitrógeno. La fertilización con este nutriente generó incrementos en las tasas de crecimiento de hasta tres veces las del pastizal sin fertilizar.

Además de los efectos de la fertilización sobre la producción y calidad de los pastizales naturales, se han realizado investigaciones para determinar los efectos sobre la producción y calidad de semillas. Un estudio realizado con Phalaris aquatica var. Sirosa, mostró que la producción de semillas se incrementó con la aplicación de N, pero los rendimientos obtenidos para las distintas dosis N no mostraron diferencias significativas ($p>0,05$) (Lutz *et al*., 1997). Por su parte, Chaparro y Pueyo (2002) en un estudio realizado con Dichanthium aristatum cv. Formoseña INTA, observaron que la cantidad de semillas cosechadas se incrementó con el aumento de los niveles de N aplicado. Sin embargo, el poder germinativo de las semillas cosechadas no fue afectado por los niveles de fertilización. Otro ensayo realizado con Bromus auleticus mostró un incremento en la producción de semillas con fertilización nitrogenada, pero no así el poder germinativo (Ruiz y Covas, 2004).

Diferentes estudios realizados en distintos tipos de pastizales muestran respuestas significativas a las fertilizaciones con nitrógeno y fósforo, sin embargo no se registran antecedentes de fertilización nitrogenada y/o fosfatada sobre pastizales del ecotono Caldenal-Monte Occidental. Debido al fuer-

te predominio de forrajeras invernales y a la escasez de estivales en el área de estudio (Adema *et al.*, 2004a), la fertilización a principios de otoño, favorecería a las especies invernales, mejorando la oferta forrajera del pastizal.

Los **objetivos** de los diferentes estudios que se presentan en este documento fueron:

- Evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada y nitrofosforada sobre el balance de agua en el suelo.
- Evaluar la respuesta de la comunidad del pastizal a la fertilización nitrogenada y nitrofosforada.
- Determinar productividad y calidad, por especie, de las principales forrajeras sometidas a fertilización.
- Evaluar la producción y calidad de semilla de las principales gramíneas mesotérmicas nativas de los pastizales del ecotono Caldenal-Monte Occidental fertilizadas con nitrógeno.

materiales y métodos

Área de estudio

Los estudios se realizaron en el Campo Anexo INTA Chacharramendi (37º22,7' S, 65º48,5' W, 265 msnm), ubicado a 12 km al SW de esa localidad, sobre la Ruta Provincial Nº 20. Pertenece al departamento Utracán de la provincia de La Pampa, Argentina. La temperatura media anual de la zona es de 15 ºC (7,5 ºC en julio y 24 ºC en enero). La precipitación media anual es de 488,9 mm (1961-2008) con alta variabilidad anual. La evapotranspiración potencial es mayor a la precipitación, provocando un marcado déficit hídrico (Adema *et al*., 2001).

El suelo del área de estudio ha evolucionado a partir de sedimentos eólicos en los que predominan las arenas muy finas, es moderadamente profundo a profundo, pobre en materia orgánica, excesivamente drenado sin peligro de anegamiento, susceptible de erosión tanto eólica como hídrica. La textura de este suelo es franco arenosa (Figura 1) y fue clasificado como Ustortente Típico (Jacyszyn y Pittaluga, 1977).

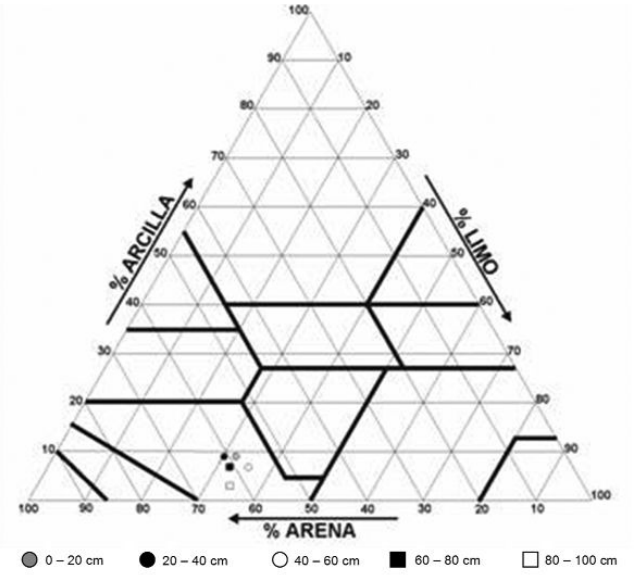


Figura 1. *Triángulo de textura donde se muestra la granulometría del perfil de suelo a diferentes profundidades, en el área de estudio.*

La vegetación presenta la fisonomía de un arbustal perennifolio con árboles aislados y un estrato de gramíneas bajas e intermedias, con alta predominancia de las especies invernales (65%) sobre las estivales (13%). Las especies invernales más importantes por densidad y producción de forraje son: *Stipa tenuis* (Ste), *Piptochaetium napostaense* (Pna) y *Poa ligularis* (Pli), representando el 60% de todas las gramíneas encontradas en el lugar (Adema *et al*., 2003).

Características generales de las principales especies evaluadas

Stipa tenuis (flechilla fina), es una gramínea baja de ciclo perenne-invernal, rebrota en marzo-abril y fructifica en noviembre-diciembre. Se la puede encontrar en el centro y sur de Argentina, desde los Andes hasta la costa atlántica. En La Pampa aparece en pastizales bajos de planicie, en los bosques de caldén, en los arbustales mixtos y de jarilla del centro y oeste de la provincia. Posee buen valor forrajero, soporta el pastoreo pero decrece con el sobrepastoreo. Debería pastorearse en invierno, cuando tiene mayor calidad, y dar descansos en primavera para favorecer su vigorización y semillado.

Piptochaetium napostaense (flechilla negra), es una gramínea baja de ciclo perenne-invernal, rebrota en marzo-abril y fructifica en diciembre. En Argentina se la encuentra desde Catamarca hasta Chubut. En La Pampa es común en pastizales bajos de planicies, en los bosques de caldén y en los arbustales mixtos del centro y sudeste. Posee buen valor forrajero. Se recomienda su pastoreo desde otoño a primavera y descanso el resto de los meses. Responde bien a los incendios y fuegos controlados de verano, ya que al quedar sin competencia se implanta mejor en otoño. Resiste bastante bien el sobrepastoreo.

Poa ligularis (unquillo), es una gramínea baja de ciclo perenne-invernal, rebrota en marzo-abril y fructifica y disemina a fines de primavera y principios de verano. Su distribución geográfica es variable, en Argentina crece desde Santa Fe a la Patagonia y de los Andes hasta la costa atlántica. En La Pampa se la encuentra en pastizales bajos de planicie, en los bosques de caldén y en algunos arbustales de jarilla. Produce gran cantidad de forraje de calidad y se la considera una especie decreciente por no resistir el pastoreo continuo. Su presencia en los potreros indica un pastoreo adecuado y cierta estabilidad de la comunidad del pastizal. Se debería pastorear en invierno, aprovechando su mayor producción y calidad, los descansos se deberían dar durante la floración y fructificación (Cano, 1988).

Estas especies son de amplia distribución geográfica en la provincia de La Pampa (Figura 2) y son las gramíneas forrajeras invernales más importantes

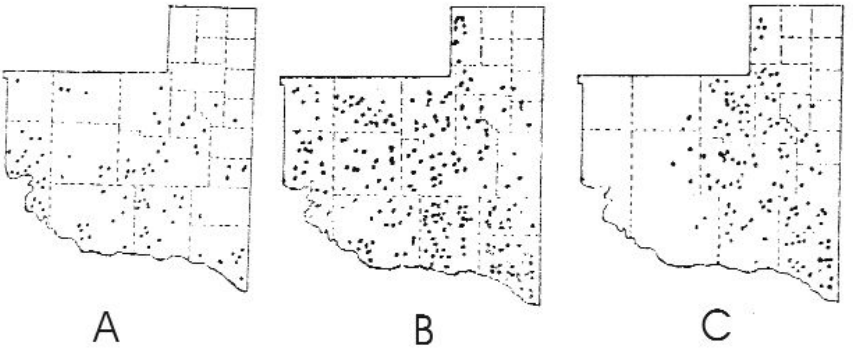


Figura 2. *Distribución de Poa ligularis (A), Stipa tenuis (B) y Piptochaetium napostaense (C) en la provincia de La Pampa. Adaptado de Cano, 1988.*

de los pastizales de las regiones del Caldenal y Monte Occidental. Este fue un factor determinante para centrar el estudio en las especies mencionadas, las cuales constituyen la base forrajera de la producción bovina.

Diseño experimental

Los ensayos se realizaron sobre un arbustal-pastizal rolado en franjas en octubre de 1997, el cual fue objeto de diferentes investigaciones sobre el suelo, uso del agua, productividad del pastizal, recuperación del monte y pastoreo (Adema *et al*., 2001; Adema *et al.*, 2002; Adema *et al*., 2003; Adema *et al*., 2004 a y b).

Las experiencias se realizaron entre los años 2003 y 2008. En el sitio de estudio se instaló una clausura rectangular de 120 m x 50 m donde se eliminó la vegetación arbustiva, a fin de evitar la interacción de la misma con la respuesta del pastizal en los diferentes tratamientos. Las especies leñosas fueron cortadas al nivel del suelo y removidas manualmente del lugar, sin provocar remoción superficial del suelo ni disturbio en el estrato graminoso - herbáceo de la vegetación. En la clausura se dejó una franja perimetral de 5 m con el pastizal desmontado, a fin de evitar el efecto de borde que pudieran provocar las leñosas. Se delimitaron parcelas de 10 m x 10 m (100 m^2) con estacas de alambre y a su vez se dividieron en subparcelas para realizar los respectivos cortes de vegetación y muestreos de suelo. Cada subparcela fue evaluada una vez por año, para medir el efecto acumulado de las diferentes variables.

La fertilización se realizó manualmente en otoño de cada año y cuando la humedad edáfica fue suficiente para asegurar la incorporación de los nutrien-

tes al perfil del suelo. Siempre se fertilizó luego de lluvias de 20 mm o más.

El primer año, al momento de la fertilización, se cortó la vegetación dejando un remanente de 5 cm sobre el nivel del suelo, con el fin de eliminar el forraje producido en la temporada anterior, para evitar que éste enmascare la respuesta del pastizal a la fertilización. Antes de las sucesivas temporadas de fertilización, el forraje fue pastoreado dejando un remanente similar al año anterior y los rebrotes de las leñosas nuevamente fueron extraídos. En 2005 la fertilización se realizó a principios del invierno y no en otoño, debido a que no se registraron precipitaciones que faciliten la incorporación del fertilizante. Este cambio de fecha no afectó los resultados esperados porque hasta el momento en que se fertilizó, la vegetación no tenía un gran desarrollo debido a la falta de precipitaciones.

Se realizaron tres diseños y evaluaciones diferentes:

- **Diseño 1:** con mediciones entre 2003 y 2005, en 5 bloques completos, con cuatro tratamientos dispuestos al azar. Los tratamientos fueron: testigo (**T**), 50 kg $N.ha^{-1}$ (**N50**), 100 kg $N.ha^{-1}$ (**N100**) y 100 kg $N.ha^{-1}$ + 40 kg $P.ha^{-1}$ (**N+P**). El nitrógeno se aplicó como urea granulada y el fósforo como fosfato diamónico. Las dosis aplicadas en cada tratamiento fueron: **N50** = 108,7 Kg $urea.ha^{-1}$, **N100** = 217,4 Kg $urea.ha^{-1}$ y **N+P** = 139,1 Kg $urea.ha^{-1}$ y 200 Kg $fosfato\ diamónico.ha^{-1}$.

- **Diseño 2**: se midió en 2007, en 5 bloques completos y cuatro tratamientos dispuestos al azar, que fueron: testigo (**T**), 25 kg $N.ha^{-1}$ (**N25**), 50 kg $N.ha^{-1}$ (**N50**) y 75 kg $N.ha^{-1}$ (**N75**). El fertilizante utilizado fue urea granulada y las dosis aplicadas en cada tratamiento fueron: **N25** = 54 Kg $urea.ha^{-1}$, **N50** = 108,7 Kg $urea.ha^{-1}$ y **N75** = 163 Kg $urea.ha^{-1}$.

- **Diseño 3:** con mediciones entre 2007 y 2008, en 5 bloques completos, con cinco tratamientos dispuestos al azar. Los tratamientos fueron: testigo (**T**), 25 kg $N.ha^{-1}$ (**N25**), 50 kg $N.ha^{-1}$ (**N50**), 75 kg $N.ha^{-1}$ (**N75**) y 50 kg $N.ha^{-1}$ + 30 kg $P.ha^{-1}$ (**N+P**). El nitrógeno se aplicó como urea granulada y el fósforo como fosfato diamónico. Las dosis aplicadas en cada tratamiento fueron: **N25** = 54 Kg $urea.ha^{-1}$, **N50** = 108,7 Kg $urea.ha^{-1}$ y **N75** = 163 Kg $urea.ha^{-1}$ y **N+P** = 69,5 Kg $urea.ha^{-1}$ y 150 Kg $fosfato\ diamónico.ha^{-1}$.

Variables estudiadas

En los diseños 1 y 3, el suelo se analizó en capas de 20 cm de espesor, desde la superficie hasta el metro de profundidad. Las variables estudiadas

fueron: textura (Bouyoucos), constantes hídricas (Ritchards), densidad aparente por el método de los cilindros, pH en pasta, materia orgánica (Walkley-Black), fósforo asimilable (Bray-Kurtz) y nitrógeno total (Kjeldhal). Bimestralmente se determinó la humedad del suelo por el método gravimétrico, en capas de 20 cm, hasta la profundidad de la tosca (100 cm) y los valores se expresaron como lámina de agua (mm).

Las precipitaciones fueron medidas en la Estación Meteorológica del Campo Anexo del INTA en Chacharramendi y el uso consuntivo bimestral (UCb) se calculó como la diferencia de agua en el suelo en el bimestre, más la lluvia acumulada en ese período (López y Arrúe, 1997). El uso consuntivo acumulado (UCa) se calculó desde la fertilización hasta el final del ciclo vegetativo de las especies evaluadas, en cada año de estudio. La eficiencia de uso del agua (EUA) se determinó dividiendo la fitomasa acumulada en cada período de muestreo, por el UC del mismo período. La eficiencia de uso del fertilizante (EUF) fue obtenida por el cociente entre la producción de materia seca (Kg MS.ha^{-1}) y la dosis de urea y fosfato diamónico utilizada en cada tratamiento.

UCb = AI + P - AF: donde **AI** es el contenido de agua en el suelo al iniciar el bimestre, **P** es la precipitación acumulada en el bimestre y **AF** es el agua en el suelo al finalizar el bimestre.

UCa = AI + P - AF: donde, **AI** es el agua en el suelo al momento de la fertilización, **P** es la precipitación acumulada en el período de evaluación y **AF** es el contenido de agua en el suelo al finalizar el ciclo vegetativo de las especies evaluadas.

EUA = FA / Uca: donde **FA** es la fitomasa acumulada durante cada año de estudio y **UCa** es el uso consuntivo acumulado.

Para evaluar la vegetación, en cada parcela se realizó el corte de 1 m^2 (diseños 1 y 3) y ½ m^2 (diseño 2) al ras del suelo y se separó el material por especie. El material colectado se secó en estufa a 60 ºC hasta peso constante y se determinó fitomasa total y por especie (kg MS.ha^{-1}) y calidad de forraje (proteína bruta, semi-micro Kjeldhal). Debido a la gran variabilidad en la distribución de las especies, a partir del año 2004 se evaluó la densidad de las especies estudiadas (Nº plantas.m^{-2}) en el mismo m2 de corte de vegetación y en cada fecha de muestreo, contando y separando las especies a medida que se las cortaba. Esto permitió tener un valor promedio de densidad por

especie y tratamiento y a la vez calcular la producción de la "planta tipo o promedio" (gMS) mediante el cociente entre fitomasa acumulada en cada fecha de muestreo y el número de plantas cortadas en cada unidad de muestreo.

Para evaluar calidad y producción de semillas se realizó la cosecha a mano (diseño 2), teniendo en cuenta las características fisiológicas de cada especie y las observaciones previas a campo. En cada parcela se colectó al azar, un número determinado de plantas por especie. En el caso de Pli se recolectaron como máximo 30 plantas por parcela, la cosecha se realizó el 15 de noviembre de 2007. La cosecha de Ste y Pna se postergó una semana (22 de noviembre de 2007), cuando se alcanzó la madurez en la mayoría de las parcelas, recolectándose al azar 10 plantas por especie y parcela. Cada planta se cortó al ras del suelo y se colocó por separado en una bolsa de cartón. El material colectado se secó en condiciones naturales en un lugar seco a la sombra y cada especie se procesó por separado.

En Pli se determinó bajo lupa el sexo de cada planta y con ello la proporción de sexos en cada parcela. Posteriormente se contó el número de panojas por planta y finalmente se realizó la trilla de forma manual. No se determinó producción de semillas por planta debido a que al momento de la cosecha ya había comenzado la dehiscencia natural de las semillas. Para eliminar las glumas pilosas que recubren a los antecios, se utilizó un cajón con una base de goma sobre el cual las semillas fueron friccionadas con un taco también recubierto de goma. Del total de semillas de cada parcela se obtuvieron 100 semillas con glumelas y 100 semillas sin glumelas, a las que se le determinó el peso seco, expresado como peso de mil semillas en cada grupo.

Para Ste y Pna se realizó el mismo procesamiento de las semillas por tratarse de especies con morfología similar. A cada planta recolectada se la pesó, se contó el número de panojas, se realizó la trilla de forma manual y se determinó el peso total de semillas por planta. Del total de semillas por parcela se recolectaron 200 semillas, 100 semillas con aristas y antopodios y 100 semillas despuntadas manualmente (sin aristas ni antopodios) para determinar el peso seco, expresado también como peso de mil semillas (Campos et al, 2008).

La experiencia de germinación de las tres especies se realizó en invernáculo. Se utilizaron 200 semillas por especie y parcela. Se respetó el diseño experimental original (4 tratamientos con 5 repeticiones cada uno). Las semillas se colocaron en bandejas de plástico (una bandeja por parcela y especie); a su vez cada bandeja fue dividida en dos secciones: en una se colocaron las 100 semillas con glumas en el caso de Pli y con aristas y antopodios en el caso de Ste y Pna; en la otra sección se sembraron las 100 semillas sin gluma (Pli) y sin arista ni antopodio (Ste y Pna). Como sustrato se utilizó suelo del sitio

de estudio, el cual fue previamente tamizado con malla de 2 mm y colocado durante dos días en estufa a 105 °C para esterilizarlo. En cada bandeja se colocaron 1250 g de suelo, a los cuales se le agregaron 80 cm^3 de agua, para simular el contenido hídrico a capacidad de campo para esta masa de suelo. El cálculo del volumen de agua se realizó en base al contenido hídrico a capacidad de campo y la densidad aparente determinadas para este suelo por Adema *et al*. (2003).

Previo a la siembra se dejaron reposar las bandejas durante 24 hs para permitir que se homogenice la humedad y se cubrieron con telas humedecidas para evitar la pérdida de agua por evaporación. Las semillas se sembraron en tandas de 10 bandejas por día. Luego de la siembra, las bandejas se observaron diariamente y se mantuvieron sin restricciones de humedad durante el resto del ensayo.

Las lecturas se realizaron cada 2 días y durante un periodo de 35 días. Se consideró que un antecio había germinado cuando se podía observar la emergencia del coleóptilo, que es una vaina cerrada que encierra la plúmula. El mismo presenta al momento de la germinación, un orificio apical por donde saldrá la plúmula. Según la interpretación más aceptada ésta corresponde a la primera hoja.

Con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de germinación (%G), y el coeficiente de velocidad de germinación (Cv) siguiendo la metodología de Scott *et al.* (1984), donde:

$$Cv = 100 \times \left[\frac{\sum N_i}{\sum N_i \times T_i}\right]$$

N_i = Número de semillas germinadas en el i-ésimo día

T_i = Tiempo en días, para la germinación en el i-ésimo día

Las variables estudiadas fueron analizadas estadísticamente mediante ANOVA y comparaciones múltiples de medias con la prueba LSD de Fisher, a un nivel de probabilidad del 5% y 10% utilizando el software SAS (SAS Institute, 1998) e Info Stat (Di Rienzo *et al.*, 2009).

resultados y discusión

Caracterización del suelo

Tomando como antecedentes la clasificación del suelo de Jacyszyn y Pittaluga (1977) y la descripción del perfil en el sitio de estudio de Adema *et al.* (2001), se analizaron las principales características del suelo que se presentan en la Tabla 1.

El perfil del suelo presenta una profundidad de aproximadamente 1 m sobre el manto calcáreo (tosca). Sus características granulométricas (60% de arena) aseguran un buen drenaje, aireación y favorecen el desarrollo de las raíces en profundidad. La capa superficial presenta mayor compactación que el resto del perfil, debido al pisoteo del ganado. Es importante destacar que en el área de estudio el manejo es pastoril sobre la base de pastos nativos. No existen antecedentes de labranza a excepción del rolado efectuado en 1997, labor que se caracteriza por la escasa remoción del suelo (Adema *et al.*, 2004a).

El escaso contenido de coloides orgánicos (carbono) e inorgánicos (arcillas) limitan la capacidad de retención de agua en el perfil, en consecuencia, es escaso el almacenamiento de agua disponible para las plantas. La capacidad de campo de todo el perfil es de 169 mm de agua, mientras que el punto de marchitez es de 89 mm, por lo que el agua útil o disponible para las plan-

Tabla 1. Principales características del suelo en el área de estudio.

Profundidad	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Arcilla (%)	9,16	9,16	8,16	8,16	4,16
Limo (%)	32,20	30,20	35,20	31,20	34,56
Arena (%)	58,64	60,64	56,64	60,64	61,28
Densidad aparente ($g.cm^{-3}$)	1,31	1,15	1,20	1,28	1,25
Carbono orgánico ($g.kg^{-1}$)	6,64	4,46	3,38	3,11	2,94
Nitrógeno ($g.kg^{-1}$)	0,60	0,49	0,44	0,41	0,40
Fósforo asimilable ($mg.kg^{-1}$)	19,48	13,85	11,65	5,48	1,34
pH	7,74	7,87	7,91	8.16	8,42
Capacidad de campo (mm)	34,10	31,10	33,20	34,70	35,70
Punto de marchitez (mm)	18,20	16,90	17,30	18,30	17,90

tas es de 80 mm. El pH es ligeramente alcalino en superficie y aumenta en profundidad, asociado a la presencia de concresiones de CO_3Ca en la masa del suelo y el manto de tosca en profundidad.

Precipitaciones

Las precipitaciones anuales en el área de estudio se presentan en la Figura 3. Se observó gran variabilidad en un rango que va de 200 a 900 mm. Asimismo, es muy alta la variabilidad de la distribución mensual y estacional de las lluvias (Tabla 2, Figura 4). Roberto et al. (1994) reportaron que la precipitación media anual del período 1961-1990 fue de 492 mm distribuidos estacionalmente de la siguiente manera: DEF=185 mm, MAM=121,6 mm, JJA=45,4 mm y SON=140 mm, con una marcada tendencia primavero-estival y un coeficiente de variación de 30,8%.

Durante el desarrollo de los trabajos se registraron precipitaciones extremas (máximas y mínimas) y cercanas a la media histórica. Lo cual fue de gran importancia ya que permitió evaluar el comportamiento del pastizal sometido a estados hídricos contrastantes. Por otro lado, dicha situación condiciona fuertemente la toma de decisiones acerca de prácticas de manejo que estén estrechamente relacionadas con esta variable ambiental.

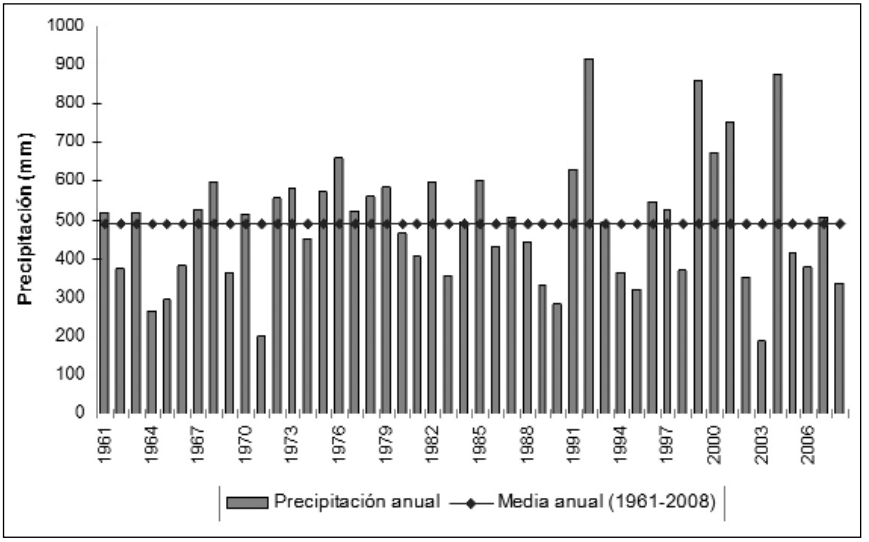


Figura 3. Precipitación anual registrada en la Estación Meteorológica del Campo Anexo INTA Chacharramendi durante el período 1961-2008.

Tabla 2. Precipitaciones mensuales (mm) registradas en el Campo Anexo INTA en Chacharramendi.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2003	24,0	11,0	22,0	17,0	8,0	0,0	3,0	38,0	2,0	6,5	35,0	19,0	**185,5**
2004	88,0	66,0	254,0	172,0	23,0	8,0	74,0	24,0	6,0	49,0	54,0	61,5	**879,5**
2005	29,0	51,0	12,5	0,0	15,5	42,0	23,0	25,0	20,0	70,0	71,5	53,5	**413,0**
2006	35,0	79,0	67,0	4,0	0,0	2,5	11,5	13,4	0,8	69,2	9,8	85,5	**377,7**
2007	179,0	51,0	74,2	16,0	0,0	0,0	15,0	0,0	59,0	30,0	70,0	12,0	**506,2**
2008	66,1	54,7	13,0	3,0	37,0	36,0	4,0	16,2	34,1	29,0	14,0	27,0	**334,1**

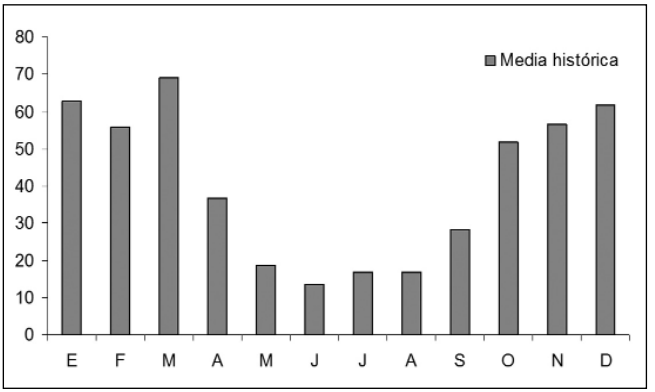


Figura 4. Precipitación media mensual histórica, registrada en la Estación Meteorológica del Campo Anexo INTA Chacharramendi durante el período 1961-2008.

Agua en el Suelo

En la Figura 5 se representa la dinámica del agua en el perfil del suelo hasta un metro de profundidad, durante tres años de estudio. En la misma se indican el punto de marchitez (PM) y la capacidad de campo (CC) medidos en laboratorio. Como ya se mencionó, la precipitación es un factor limitante en la producción del pastizal, no obstante el conocimiento del valor del agua útil es de gran importancia ya que a partir de ella se puede predecir la producción esperable de la vegetación.

En 2003 y 2005 la vegetación estuvo permanentemente bajo estrés hídrico y la humedad del suelo por debajo del PM. Investigaciones anteriores en este mismo sitio demostraron que el PM obtenido en laboratorio es sólo teórico, y que la vegetación nativa no alcanza la marchitez permanente aún con contenidos de agua en el perfil en el orden de 50 mm (Adema *et al.*, 2004a). El año 2004 fue muy diferente, ya que hubo agua útil en el perfil y hasta se superó la CC (entre marzo y abril). La vegetación siempre tuvo disponibilidad de agua, la cual no fue limitante para su desarrollo como lo es habitualmente.

Sólo se graficaron los tratamientos testigo y N+P, que tuvieron los valo-

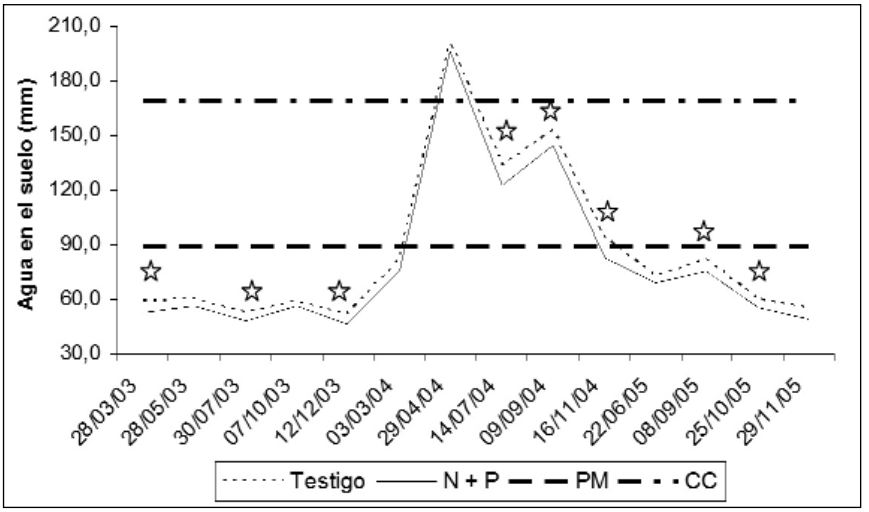


Figura 5. Dinámica del agua en el suelo durante el período 2003 - 2005.
** Indican los meses con diferencias significativas (p<0,10) entre tratamientos fertilizados y el testigo sin fertilizar.*

res más altos y más bajos de agua en el perfil, respectivamente. N50 y N100 presentaron valores intermedios, y se comportaron de la misma manera que los tratamientos graficados. No existió interacción significativa entre fechas y tratamientos al mismo nivel de probabilidad.

En la Tabla 3 se muestran los contenidos de agua en los diferentes tratamientos. En general, las diferencias significativas (p<0,10) ocurren entre el testigo y los tratamientos fertilizados, mientras que no hubo diferencias entre estos últimos. A diferencia de diciembre de 2003, donde N+P tuvo menor humedad en el perfil que el resto de los tratamientos. En septiembre y octubre de 2005, N50 mostró diferencias con el resto de los tratamientos, mientras que estos no se diferenciaron entre sí.

En el primer muestreo, previo a la fertilización (28/03/03), no existieron diferencias significativas entre tratamientos, a excepción de N+P que presentó menor contenido de agua en el perfil (5 mm). Esta diferencia puede atribuirse a la variabilidad que presentan los suelos de estos ambientes. En los meses de mayo y octubre de 2003, y marzo y abril de 2004 no hubo diferencias significativas entre los diferentes tratamientos, mientras que en las restantes fechas el contenido hídrico del suelo del pastizal sin fertilizar fue significativamente superior al resto de los tratamientos. Esto se explica por el aumento de fitomasa del pastizal fertilizado y como consecuencia el aumento en el consumo de agua.

Fecha	Testigo	N50	N100	N + P
28/03/03	58,9	59,2	56,0	52,9
28/05/03	59,6	55,4	59,5	56,3
30/07/03	52,4	48,9	49,5	48,6
07/10/03	58,8	57,9	56,2	56,0
12/12/03	51,8	48,5	52,5	46,8
03/03/04	82,1	71,9	76,0	75,7
29/04/04	201,3	195,3	201,0	196,0
14/07/04	133,6	122,4	126,2	122,3
09/09/04	152,6	144,2	145,2	145,0
16/11/04	94,1	80,1	85,5	82,5
22/06/05	73,1	72,3	70,8	69,1
08/09/05	82,0	77,7	75,5	75,4
25/10/05	60,2	53,3	55,9	55,9
29/11/05	55,1	52,6	52,3	48,7

Tabla 3. Lámina de agua en el perfil del suelo (mm). Valores medios por tratamiento durante el período 2003 - 2005.

Uso consuntivo

El uso consuntivo (UC) del pastizal en el año 2003 fue coincidente con la precipitación acumulada del mismo año. Lo contrario sucedió en 2004, donde el UC estuvo por debajo de la precipitación acumulada (aunque no existieron diferencias significativas). En el mes de noviembre la lluvia acumulada fue similar al UC acumulado (Tabla 4 y Figura 6).

Tabla 4. Uso consuntivo y lluvias acumuladas en 2003 - 2005.

	UC bimestral acum. (mm)				
	Testigo	**N50**	**N100**	**N + P**	**Lluvia acum. (mm)**
28/05/2003	26,3	30,8	24,5	23,6	27,0
30/07/2003	36,6	40,3	37,5	34,3	30,0
07/10/2003	70,6	71,8	71,3	67,4	70,0
12/12/2003	118,6	122,2	116,0	117,6	111,5
29/04/2004	285,8	281,6	280,0	284,7	405,0
14/07/2004	388,5	389,5	389,8	393,4	440,0
09/09/2004	463,4	461,7	464,8	460,5	534,0
16/11/2004	593,0	596,8	591,7	598,2	605,0
08/09/2005	51,1	54,6	55,3	53,7	60,0
25/10/2005	154,9	161,0	156,9	155,2	142,0
29/11/2005	205,0	206,7	205,5	207,4	187,0

19 de 43

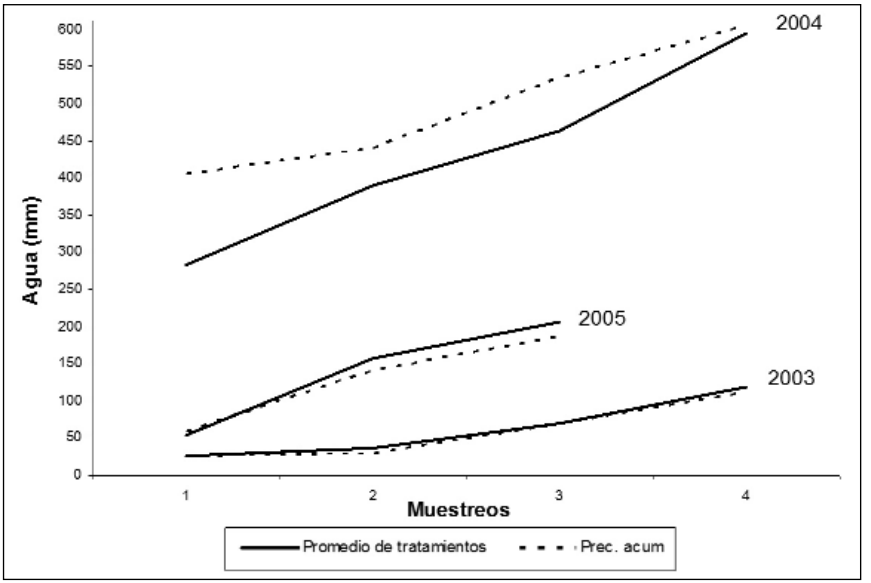


Figura 6. *Uso consuntivo promedio acumulado y lluvia acumulada en cada período.*

No se encontraron diferencias significativas (p>0,05) entre los valores de UC bimestrales de los tratamientos para igual fecha, durante los tres años de estudio. Asimismo, el UC acumulado tampoco presentó diferencias significativas al mismo nivel de probabilidad. En 2003, desde la fertilización hasta el final del ciclo vegetativo, el UC acumulado promedio fue 118,6 mm y la precipitación acumulada alcanzó 111,5 mm; mientras que en 2004 el UC acumulado promedio fue de 595 mm y la precipitación fue de 605 mm. Cabe aclarar que en 2004 la precipitación acumulada siempre fue mayor al UC, lo cual mantuvo un almacenamiento temporario de agua en el perfil del suelo (Figura 5). En 2005 el UC acumulado promedio fue de 206,1 mm y la precipitación fue de 187 mm.

El UC del período 2003 muestra el paralelismo que tiene con las precipitaciones, en coincidencia con lo informado por Adema *et al.* (2003). En 2004 la precipitación no fue limitante para la producción del pastizal. El UC acumulado fue menor que las lluvias en casi todo el ciclo vegetativo del pastizal hasta el mes de noviembre, donde ambas variables presentaron valores similares. ***Esta situación refleja la escasa capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y el consumo total que realiza la vegetación, dependiendo su productividad del momento y la cantidad de lluvias aportadas al ambiente*** (Cable, 1980). En 2005, la vegetación finaliza su ciclo reproductivo bajo un importante estrés hídrico.

Eficiencia de uso del agua

La fitomasa producida por hectárea y milímetro de agua consumido por las gramíneas se expresa como EUA y los resultados se presentan en la Tabla 5.

En 2003, la EUA fue similar en los diferentes tratamientos. No se observó un aumento significativo en producción de fitomasa mediante la fertilización como consecuencia de la escasa disponibilidad de agua para las plantas. En este año se presentó una marcada sequía durante todo el ciclo vegetativo. Pueden apreciarse las diferencias, respecto de esta variable, en la comparación de los tres años de estudio.

	EUA (kg MS.ha^{-1}.mm^{-1})			
	Testigo	N50	N100	N + P
2003	3,148	3,131	3,650	3,565
2004	5,321	8,438	8,639	9,778
2005	6,916	9,443	9,522	12,288

Tabla 5. *Eficiencia de uso del agua (kg MS.ha^{-1}.mm^{-1}) del pastizal en Chacharramendi, La Pampa.*

En un año sin limitaciones hídricas, como fue 2004, la mayor EUA media se observó en el tratamiento N+P (9,778 kg MSa.ha^{-1}.mm^{-1}) y la menor en el testigo (5,321 kg MSa.ha^{-1}.mm^{-1}). Lo que significa que la corrección de las deficiencias de N y P en el suelo incrementó en un 84% la producción de fitomasa por milímetro de agua consumido. Por su parte, la incorporación de N al suelo aumentó la EUA en el pastizal en 59% y 63% en N50 y N100, respectivamente.

En 2005 la EUA fue similar a la del año precedente, aunque en mayor magnitud. El tratamiento más eficiente en utilizar el agua fue N+P y el menos eficiente, el Testigo. De estos resultados se deduce que ***la incorporación de los macronutrientes deficientes en el suelo, aumenta la EUA, en particular en años húmedos.***

Sobre este mismo pastizal y con la presencia e interacción del estrato arbustivo, Adema et al. (2004a), en un período de cuatro años de estudio, demostraron que la EUA promedio anual del estrato graminoso-herbáceo se duplicó (2,2 kg MSa.ha^{-1}.mm^{-1} a 4,27 kg MSa.ha^{-1}.mm^{-1}) cuando se controló el arbustal mediante rolado. En base a este antecedente tecnológico que permitió aumentar la productividad del pastizal en un 90% y a los resultados obtenidos con la incorporación de la tecnología de fertilización, la EUA ha llegado en promedio a triplicarse. ***En consecuencia el potencial productivo de esta amplia zona semiárida de la provincia de La Pampa se encuentra muy por encima de los niveles actuales de producción.***

Vegetación

• ***Disponibilidad:*** La producción de forraje fue muy diferente entre los años analizados. En 2003 hubo muy baja producción y no existió un efecto significativo de tratamiento debido a la escasez de precipitaciones, hecho que condicionó fuertemente la productividad del pastizal. Lo contrario se observó en 2004 donde la fitomasa acumulada fue mayor y los tratamientos mostraron diferencias significativas. Esto se debió a la excelente distribución y cantidad de lluvias a lo largo del año. La Tabla 6 muestra los valores de fitomasa acumulada bimestralmente durante 2003 y 2004. Estos valores corresponden a la sumatoria de Pli, Ste y Pna para cada tratamiento y fecha de corte.

Tabla 6. *Fitomasa acumulada promedio (Kg MS.ha^{-1}) por tratamiento y fecha de muestreo del pastizal.*

Fecha	Testigo	N50	N100	N+P
28/05/2003	263,4 a	221,0 a	179,0 a	200,8 a
30/07/2003	276,8 a	301,8 a	274,8 a	353,2 a
07/10/2003	**373,4 a**	**382,6 a**	**423,4 a**	**419.2 a**
29/04/2004	548,4 c	983,2 b	919,6 b	1172,2 a
14/07/2004	731,2 c	1661,2 b	1625,4 b	2253,8 a
09/09/2004	1367,8 c	1983,2 b	2411,0 b	2826,2 a
16/11/2004	**3155,6 c**	**5035,6 b**	**5144,6 b**	**5849,4 a**

Las comparaciones se realizan dentro de una misma fila. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0,05) entre tratamientos.

Comparando los valores anuales de forraje acumulado de cada año de estudio con lo reportado por Frank *et al.* (1998) y Cano *et al*. (1988) en pastizales similares, vemos que hay gran variabilidad, en correspondencia con diferentes factores ambientales, principalmente la distribución y cantidad de las precipitaciones. Frank *et al.* (1998) determinaron la producción media anual de un pastizal de buena condición en 600 kg.ha^{-1}, mientras que Cano *et al.* (1988) determinaron una producción con un rango de variación entre 602 y 1440 kg.ha^{-1}. Estos valores son entre dos y tres veces superiores a los encontrados en este trabajo para el año 2003 (373,4 kg.ha^{-1}). Sin embargo, al año siguiente se obtuvo en el testigo una producción acumulada de forraje de 3155,6 kg.ha^{-1}, esto es entre dos y cinco veces superior a lo reportado por estos autores en sus respectivos trabajos.

Los resultados obtenidos muestran que la fertilización favorece la producción de forraje, sin embargo, tiene fuerte dependencia de las precipitaciones. En 2004, la fitomasa acumulada en N+P fue significativamente mayor que la de los tratamientos fertilizados con nitrógeno, sin embargo N50 y N100 no mostra-

A) Pna	Testigo	N50	N100	N+P
28/05/2003	67,8 a	63,0 a	30,2 a	19,0 a
30/07/2003	58,6 a	61,2 a	73,2 a	13,2 b
07/10/2003	87,0 a	66,2 a	18,2 b	24,2 b
29/04/2004	256,8 a	153,6 b	147,6 b	39,0 c
14/07/2004	194,4 a	160,0 a	328,2 a	40,6 b
09/09/2004	243,2 a	271,6 a	65,6 a	107,4 a
16/11/2004	741,4 a	842,6 a	934,8 a	172,2 b
B) Ste	**Testigo**	**N50**	**N100**	**N+P**
28/05/2003	40,6 a	58,6 a	45,4 a	32,0 a
30/07/2003	41,2 a	47,6 a	36,4 a	46,4 a
07/10/2003	112,8 a	176,8 a	146,4 a	126,4 a
29/04/2004	146,0 b	452,4 a	499,6 a	636,8 a
14/07/2004	324,0 b	887,2 a	730,6 a	1278,2 a
09/09/2004	468,2 b	925,2 b	1455,6 a	829,0 b
16/11/2004	1684,2 b	2885,2 a	3076,4 a	3387,6 a
C) Pli	**Testigo**	**N50**	**N100**	**N+P**
28/05/2003	155,0 a	99,4 a	103,4 a	149,8 a
30/07/2003	177,0 a	193,0 a	165,2 a	293,6 a
07/10/2003	173,6 a	139,6 a	258,6 a	268,6 a
29/04/2004	145,6 b	377,2 b	272,4 b	496,4 a
14/07/2004	212,8 b	614,0 b	566,6 b	935,0 a
09/09/2004	656,4 b	786,4 b	889,8 b	1889,8 a
16/11/2004	730,0 b	1307,8 b	1133,4 b	2289,6 a

Tabla 7. Fitomasa acumulada promedio (Kg MS.ha^{-1}) por tratamiento y fecha de muestreo del pastizal, según la especie: A) Pna, B) Ste y C) Pli.

Las comparaciones se realizan dentro de una misma fila. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,10$) entre tratamientos.

ron diferencias significativas entre sí. En un estudio realizado por Romero et al. (2003), encontraron el mismo comportamiento del pastizal a los tratamientos nitrogenados (60 y 115 kg de urea. ha^{-1}), es decir, aumentan la producción de forraje pero no se diferencian entre ellos.

Con respecto a la fitomasa acumulada por especie y fecha de evaluación en cada tratamiento, Pna tuvo menor producción en el tratamiento fertilizado con nitrógeno y fósforo respecto del resto de los tratamientos, incluyendo el testigo (Tabla 7). Sin embargo, Ste y Pli se comportaron según lo esperado, es decir, tuvieron mayor fitomasa acumulada en los tratamientos fertilizados que en el testigo. La falta de relación entre la cantidad de forraje acumulado y las sucesivas fechas de muestreo, puede explicarse, en principio, a la variabilidad espacial propia de los pastizales (Butti *et al.*, 2005).

En otro estudio (Campos, 2008) se encontró que en general, los tratamientos fertilizados con nitrógeno presentaron mayor cantidad de forraje acumula-

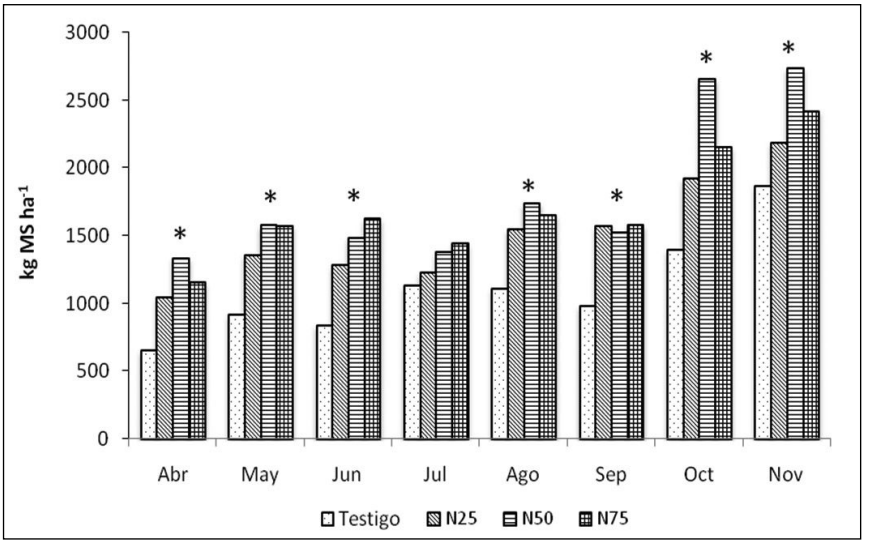


Figura 7. *Fitomasa acumulada promedio (kg MS.ha^{-1}) del pastizal para cada tratamiento y fecha de muestreo. * Indica diferencias significativas entre el testigo y el promedio de los tratamientos fertilizados (p<0,05).*

do mensual respecto del testigo. Sin embargo, no se observaron diferencias en la producción de forraje entre las tres dosis de nitrógeno aplicadas (Figura 7).

En los meses de mayo, junio, agosto y octubre se observaron diferencias significativas en la fitomasa acumulada del pastizal entre tratamientos, no así en el resto de los meses. Entre los tratamientos fertilizados, en los meses de junio y octubre se observaron algunas diferencias significativas. En junio, N75 fue significativamente mayor a N25, pero no se diferenció de N50 (p>0,05). En octubre, N50 fue significativamente mayor a N25, pero no se diferenció de N75 (p>0,05). En el resto de las fechas no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados (p>0,05).

En la Tabla 8 se muestran los valores de fitomasa acumulada mensualmente para cada especie.

Las tres especies se comportaron de manera diferente respecto a la producción de forraje acumulado según el tratamiento, en el período evaluado. Se observó que, de las tres especies, Ste presentó mayor respuesta a la fertilización, ya que mostró diferencias significativas entre tratamientos. Pna no mostró diferencias entre tratamientos en ninguna de las fechas evaluadas, y en Pli sólo en dos meses se observaron diferencias significativas entre tratamientos (p<0,05).

Tabla 8. *Fitomasa acumulada promedio (kg MS.ha^{-1}) por tratamiento y fecha de muestreo, según la especie.*

				Poa ligularis				
Tratamientos	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**
Testigo	238,0 a	356,6 a	269,4 a	134,4 a	187,8 b	237,6 a	319,2 a	455,8 b
N 25	99,2 a	396,4 a	227,2 a	215,2 a	403,4 ab	412,6 a	543,0 a	618,2 ab
N 50	244,6 a	184,2 a	368,2 a	223,6 a	222,8 b	377,4 a	356,4 a	273,6 b
N 75	353,0 a	458,8 a	503,6 a	425,6 a	601,0 a	445,8 a	825,2 a	1011,8 a
Valor p (bloque)	0,4375	0,8371	0,8062	0,0897	0,2857	0,5594	0,3968	0,7777
Valor p (trat.)	0,3443	0,4948	0,4220	0,0616	0,0142	0,5512	0,0768	0,0495
				Piptochaetium napostaense				
Tratamientos	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**
Testigo	186,0 a	289,0 a	271,6 a	531,2 a	273,8 a	219,2 a	465,8 a	458,2 a
N 25	391,0 a	237,2 a	408,0 a	541,8 a	293,6 a	514,8 a	394,0 a	488,2 a
N 50	580,6 a	408,0 a	470,2 a	361,8 a	537,2 a	305,4 a	576,2 a	437,8 a
N 75	493,2 a	677,0 a	418,0 a	442,2 a	436,2 a	424,4 a	618,2 a	398,4 a
Valor p (bloque)	0,8389	0,6691	0,8041	0,4414	0,1122	0,8813	0,5381	0,1649
Valor p (trat.)	0,4860	0,1038	0,8678	0,7923	0,3990	0,7185	0,7673	0,9860
				Stipa tenuis				
Tratamientos	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**
Testigo	228,8 c	270,4 b	297,2 b	463,6 a	650,0 a	523,4 a	611,8 b	955,0 b
N 25	552,0 a	725,6 ab	644,8 a	468,2 a	851,2 a	640,4 a	982,6 b	1081,0 b
N 50	506,8 ab	983,0 a	646,2 a	791,2 a	975,6 a	843,6 a	1722,8 a	2025,0 a
N 75	310,8 bc	437,6 b	704,8 a	572,0 a	613,2 a	707,2 a	710,6 b	1010,4 b
Valor p (bloque)	0,0460	0,8851	0,4305	0,2481	0,6432	0,4315	0,1173	0,1999
Valor p (trat.)	0,0267	0,0381	0,0453	0,1655	0,3222	0,6977	0,0015	0,0276

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (p<0,05).

• ***Densidad:*** Los resultados de densidad de las tres especies evaluadas durante los años 2004-2005, se presentan en la Tabla 9.

La densidad promedio de las tres especies evaluadas fue similar en los diferentes tratamientos, aunque se observa que en N+P, N50 y N100 existió mayor proporción de Ste y Pli respecto de Pna. En el tratamiento N+P, Ste y Pli representan el 90% de la densidad total y los tratamientos fertilizados con nitrógeno, representan el 75%. Mientras que en el testigo, la proporción de las tres especies estudiadas fue similar.

Por otro lado, durante los años 2007 y 2008, se observó que el número de plantas disminuyó respecto de los años anteriores, en todos los tratamientos, pero principalmente, en los fertilizados (Tabla 10).

Tabla 9. *Densidad (N° plantas.m^{-2}) de Poa ligularis, Stipa tenuis y Piptochaetium napostaense según el tratamiento. Período 2004-2005.*

	N° promedio de plantas por m^2			
	Pli.	Ste.	Pna.	Total x m^2
Testigo	12,9	11,4	11,8	**36,1**
N 50	13,8	13,3	8,5	**35,6**
N 100	12,5	14,6	8,9	**36,1**
N + P	16,4	17,3	4,0	**37,7**

Tabla 10. *Densidad (N° plantas.m^{-2}) de Poa ligularis, Stipa tenuis y Piptochaetium napostaense según el tratamiento. Período 2007-2008.*

	N° promedio de plantas por m^2			
	Pli.	Ste.	Pna.	Total x m^2
Testigo	6,0	13,0	15,2	**34,2**
N 25	5,0	13,7	11,0	**29,7**
N 50	7,4	13,9	6,0	**27,3**
N 75	6,4	15,0	7,2	**28,6**
N + P	6,3	15,4	3,7	**25,3**

La marcada disminución del número de plantas estuvo provocada por las desfavorables condiciones hídricas de los años estudiados, generando gran mortandad de plantas. Según lo observado, Pli sería la especie más afectada por el estrés hídrico (Tabla 10).

Cano (1988) informó que el estrato graminoso-herbáceo está dominado por Pna y Ste seguidos por Pli en pastizales con buen manejo de la rotación del pastoreo. Estudios futuros deberían orientarse a determinar si la fertilización de pastizales puede afectar su composición en virtud de los datos que se muestran en la Tabla 9, donde Ste y Pli presentan mayor densidad en el tratamiento N+P. ***Probablemente existan especies que tengan una respuesta más rápida a la incorporación de nutrientes y compitan con mayor eficiencia dentro de la comunidad del pastizal. Si esta hipótesis fuera validada, se podría contar con una herramienta de manejo complementaria al manejo del pastoreo, que permita direccionar la comunidad del pastizal hacia la composición y productividad más deseable.***

• ***Composición florística***: En el análisis de esta variable, se encontró una asociación positiva entre la fertilización combinada (N+P=100 kg N.ha^{-1} + 40 kg P.ha^{-1}) y la presencia de *Poa ligularis* y *Stipa tenuis*, y negativa con Piptochaetium napostaense ($p<0,05$), mostrando una respuesta favorable de las dos primeras especies con respecto a la tercera.

La fertilización nitrofosforada en dosis altas y en pastizales con predominio de especies mesotérmicas, modificaría la composición del mismo. *Poa*

ligularis y *Stipa tenuis* posiblemente son más eficientes en la utilización de los macronutrientes agregados (Butti *et al.*, 2007).

• ***Calidad:*** Los contenidos de proteína del pastizal según los diferentes tratamientos se muestran en la Figura 8.

Los tratamientos fertilizados mostraron siempre mayor calidad de forraje que el testigo. Del análisis estadístico surge que hay efectos significativos de tratamientos ($p<0,05$) y de especies ($p=0,10$), pero no hay interacción entre ambos. En los dos años consecutivos se observó mayor contenido proteico promedio en los tratamientos fertilizados (11% y 13,5%) respecto del testigo (8,8% y 10,4%), respectivamente. Las diferencias en los contenidos de proteína que hay entre 2003 y 2004, probablemente se deben a que el pastizal en ese último año no tuvo limitación hídrica y pudo desarrollarse con menores restricciones ambientales. Si se analiza el comportamiento del pastizal sin fertilizar, puede apreciarse que en 2003, el contenido proteico medio fue de 8,8% desde mayo a octubre, valor suficiente para sustentar vacas de cría. En 2004, los contenidos proteicos del testigo superaron a los del año anterior para igual fecha de corte. Los cuales cayeron notablemente en la última fecha de evaluación, cuando las plantas se encontraban al final de su ciclo reproductivo, con la consecuente pérdida de calidad.

Las tres especies presentaron la máxima calidad en el mes de abril de

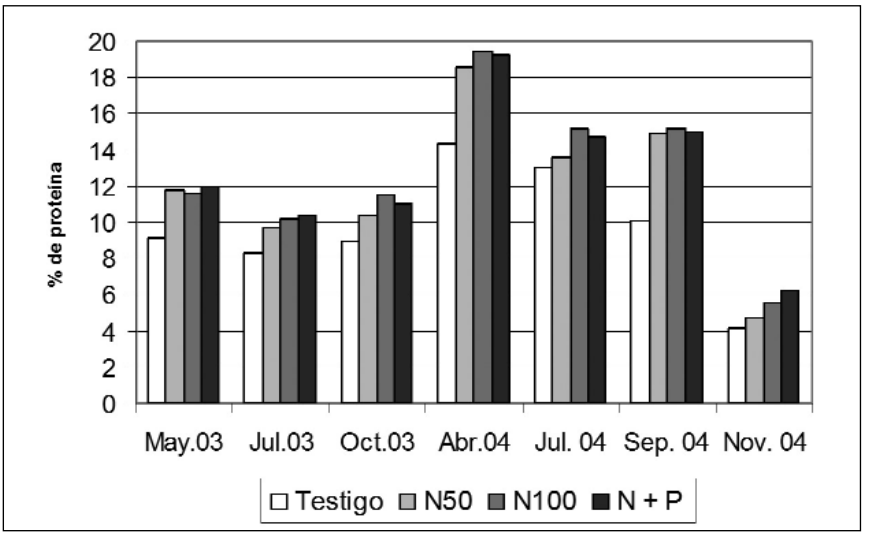


Figura 8. Porcentaje de proteína promedio de cada tratamiento en diferentes fechas.

Tabla 11. Contenido de proteína promedio (%) de cada especie, por tratamiento.

Pna	Testigo	N50	N100	N+P
28/05/2003	9,23	12,33	11,41	11,73
30/07/2003	8,79	10,44	10,80	9,98
07/10/2003	9,40	10,89	12,34	10,64
29/04/2004	13,16	19,98	19,50	18,54
14/07/2004	12,10	12,65	14,61	13,08
09/09/2004	10,51	14,73	16,99	14,04
16/11/2004	4,18	4,87	5,88	7,46
Ste	**Testigo**	**N50**	**N100**	**N+P**
28/05/2003	9,07	12,67	11,91	12,44
30/07/2003	7,47	8,57	9,54	10,89
07/10/2003	9,31	9,78	11,43	11,87
29/04/2004	15,77	19,54	20,81	22,49
14/07/2004	14,71	16,41	17,41	17,85
09/09/2004	11,15	17,47	17,64	17,50
16/11/2004	4,43	5,66	6,40	6,70
Pli	**Testigo**	**N50**	**N100**	**N+P**
28/05/2003	9,23	10,24	11,58	11,72
30/07/2003	8,59	10,16	10,24	10,23
07/10/2003	8,05	10,47	10,84	10,59
29/04/2004	14,09	16,35	17,97	16,59
14/07/2004	12,14	11,57	13,68	13,36
09/09/2004	8,51	12,60	10,89	13,41
16/11/2004	3,73	3,71	4,28	4,48

2004 y la mínima en noviembre del mismo año, independientemente del tratamiento (Tabla 11). Se observó que la calidad de las especies fue diferente entre los dos años de estudio, probablemente en relación a las diferencias climáticas antes mencionadas.

Las precipitaciones ocurridas en los meses de marzo y abril de 2004 (426 mm), explicarían los altos contenidos de proteína bruta encontrados a fines de abril, ya que en éste período las plantas se encuentran en estado de rebrote (Cano, 1988).

En la Figura 9 se muestran los valores de calidad del pastizal natural (bajo el diseño 2) combinando las tres especies analizadas, según los diferentes tratamientos. Sin considerar las diferencias entre tratamientos, se observaron mayores valores de calidad en el mes de abril, mientras que en las sucesivas fechas hubo una disminución gradual, hasta los meses de septiembre y octubre en los que se incrementó la calidad. Finalmente, en noviembre, el

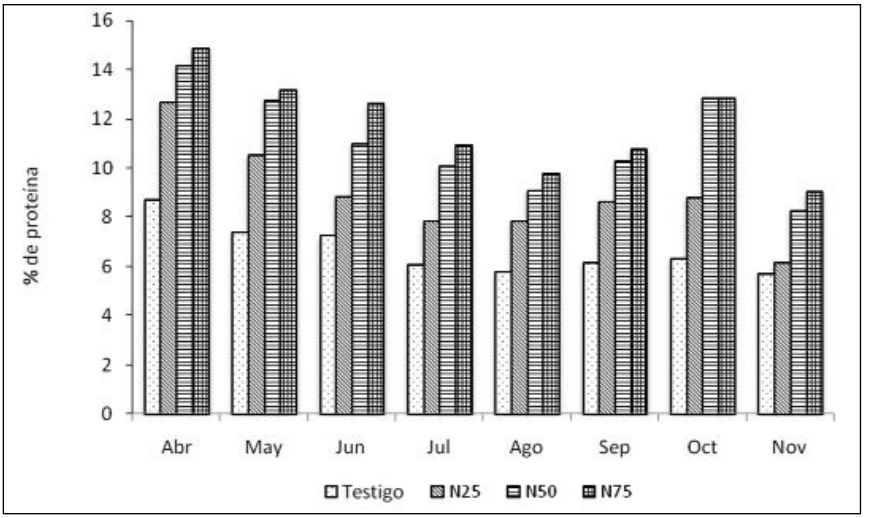


Figura 9. Porcentaje de proteína promedio del pastizal natural según el tratamiento y la fecha de corte.

pastizal mostró los menores valores de calidad entre las fechas observadas.

El promedio ponderado de las tres especies mostró diferencias significativas en calidad entre los tratamientos en todos los meses evaluados (Tabla 12). Además, entre los tratamientos fertilizados, se manifestó un aumento gradual en la calidad del pastizal con respecto al aumento de la dosis de nitrógeno aplicado.

Los valores de calidad de cada especie se presentan en la Tabla 13. Las tres especies mostraron siempre mayor calidad en los tratamientos fertilizados que en el testigo, en todas las fechas evaluadas.

Tabla 12. Contenido de proteína promedio (% de proteína) del pastizal natural por tratamiento y fecha de muestreo.

Tratamientos	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Testigo	8,68 d	7,37 d	7,24 d	6,04 d	5,79 d	6,14 d	6,31 d	5,70 d
N 25	12,65 c	10,51 c	8,82 c	7,83 c	7,82 c	8,60 c	8,79 c	6,16 c
N 50	14,13 b	12,75 b	10,98 b	10,07 b	9,07 b	10,28 b	12,82 b	8,26 b
N 75	14,84 a	13,16 a	12,63 a	10,91 a	9,78 a	10,75 a	12,84 a	9,02 a
Valor p (bloque)	0,7360	0,8487	0,4753	0,3199	0,6790	0,6586	0,5960	0,7272
Valor p (trat.)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (p<0,05).

29 de 47

Tabla 13. *Contenido de proteína promedio (% de proteína) por especie, tratamiento y fecha de muestreo.*

Poa ligularis								
Tratamientos	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**
Testigo	8,59 c	6,77 c	6,64 b	5,23 c	4,96 b	5,79 c	5,96 c	5,08 a
N 25	12,15 b	9,76 b	7,96 b	7,28 bc	8,04 a	8,50 b	8,88 b	5,67 a
N 50	13,88 a	11,88 a	9,58 ab	10,20 b	9,42 a	10,21 ab	11,08 a	6,95 a
N 75	14,27 a	12,13 a	12,60 a	10,86 a	9,59 a	10,39 a	11,53 a	8,82 a
Valor p (trat.)	<0,0001	0,0042	0,0065	<0,0001	0,0056	0,0052	0,0058	0,0654
Piptochaetium napostaense								
Tratamientos	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**
Testigo	8,91 c	8,14 c	8,09 c	6,64 c	6,12 c	6,78 c	6,49 c	6,46 a
N 25	12,87 b	11,34 b	8,92 c	8,21 b	7,94 b	8,56 b	9,88 b	6,90 a
N 50	14,06 ab	12,76 a	11,07 b	10,26 a	8,31 b	10,43 a	13,38 a	8,16 a
N 75	15,09 a	13,53 a	13,04 a	10,51 a	10,29 a	11,58 a	13,61 a	8,86 a
Valor p (trat.)	0,0025	0,001	0,0028	0,0016	0,0042	0,0058	0,0023	0,1407
Stipa tenuis								
Tratamientos	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Sep**	**Oct**	**Nov**
Testigo	8,57 c	7,34 c	7,07 c	5,64 c	5,91 a	6,04 c	6,37 b	5,64 a
N 25	12,58 b	10,65 b	9,05 cb	7,68 b	7,67 a	8,70 b	8,28 b	6,11 a
N 50	14,33ab	12,95 a	11,62 ab	9,95 a	9,38 a	10,25 a	13,05 a	8,45 a
N 75	14,94 a	13,62 a	12,41 a	11,25 a	9,62 a	10,54 a	13,57 a	9,34 a
Valor p (trat.)	0,002	0,0008	0,0316	0,0055	0,1331	0,0013	0,002	0,0716

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (p<0,05).

Se observó un efecto significativo de tratamiento (p<0,05) en las tres especies, en casi todos los meses evaluados, a excepción de noviembre, cuando estas especies se encuentran finalizando su ciclo vegetativo. Además, en agosto, Ste fue la única especie que no mostró diferencias significativas en calidad entre los tratamientos (p>0,05).

Por su parte, Pna mostró diferencias significativas entre los tratamientos fertilizados y el testigo en la mayoría de los meses observados. En junio, N50 y N75 se diferenciaron del testigo, mientras que en mayo, julio, septiembre y octubre, N75 fue significativamente mayor a N25, pero no mostró diferencias significativas con N50. En abril, N75 presentó mayor calidad que N25, mientras que N50 no mostró diferencias con ninguno. En agosto, N75 fue significativamente mayor al resto de los tratamientos fertilizados, que no mostraron diferencias significativas entre sí (p>0,05).

En el caso de Ste la calidad en los tratamientos fertilizados fue significa-

tivamente mayor en abril, mayo, julio y septiembre (p<0,05). En abril, se observó que N75 mostró diferencias significativas con N25, mientras que N50 no mostró diferencias con ninguno. En mayo, julio y septiembre, N50 y N75 fueron significativamente mayores a N25, pero no mostraron diferencias entre sí. En junio y octubre, N50 y N75 fueron significativamente mayores al testigo, pero no mostraron diferencias significativas entre sí. En junio se observó que, a diferencia de octubre, N50 no se diferenció de N25.

- ***Producción y calidad de semillas***

Poa ligularis

En el caso de Pli no se determinó la producción de semillas debido a que al momento del muestreo, ya había comenzado la dehiscencia natural de las mismas. Se colectaron al azar un total de 440 plantas (110 de cada tratamiento). Se observó una proporción de sexos aproximada de 70% de plantas femeninas y 30% de plantas masculinas. No se observaron diferencias en la proporción de sexos entre los tratamientos (Tabla 14).

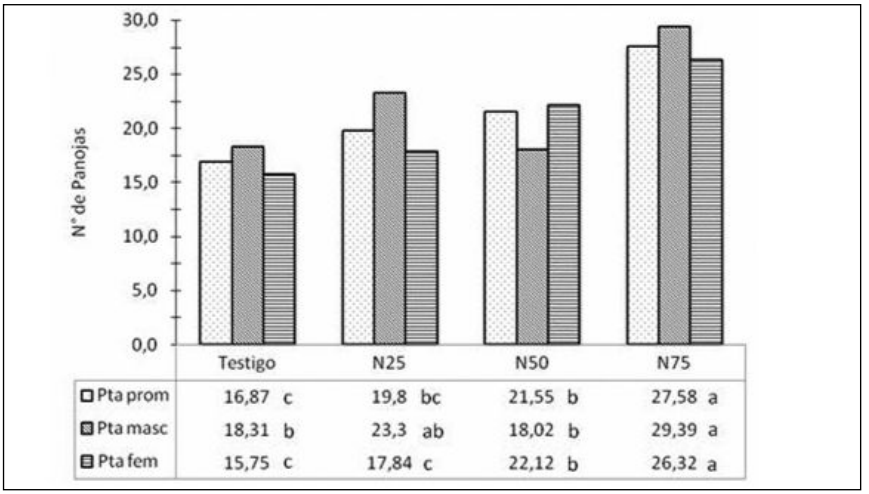
En la Figura 10 se presenta el número de panojas de una planta promedio de Pli, donde se observaron diferencias entre tratamientos (p<0,05). Las plantas fertilizadas de N50 y N75 mostraron mayor número de panojas que las del testigo (p<0,05), y a su vez, N75 tuvo mayor número de panojas que N50.

Cuando se discriminó por sexos, se observaron diferencias entre tratamientos en ambos géneros. En las plantas masculinas se observó que N75 presentó el mayor número de panojas, diferenciándose significativamente del testigo y de N50. Por su parte, N25 no mostró diferencias significativas con el resto. Las plantas femeninas mostraron un número significativamente mayor de panojas en N50 y N75 con respecto a los otros tratamientos. El número de panojas en N75 fue mayor que en N50 (p<0,05), mientras que el valor de N25 no se diferenció del testigo.

Tratamientos	P. Femeninas	P. Masculinas
Testigo	74,04 a	25,96 a
N 25	71,43 a	28,57 a
N 50	73,87 a	26,13 a
N 75	69,37 a	30,63 a

Tabla 14. Proporción de sexos promedio de Poa ligularis por tratamiento.

Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (p<0,05).

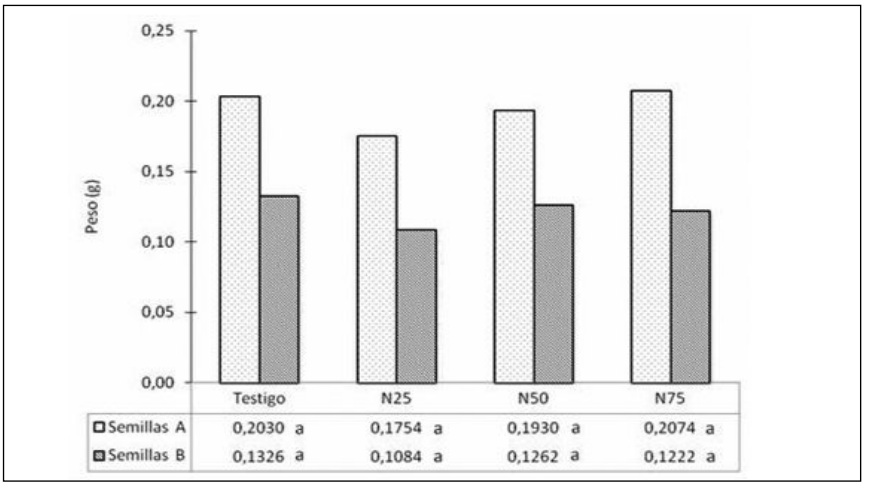


	Testigo	N25	N50	N75
Pta prom	16,87 c	19,8 bc	21,55 b	27,58 a
Pta masc	18,31 b	23,3 ab	18,02 b	29,39 a
Pta fem	15,75 c	17,84 c	22,12 b	26,32 a

Figura 10. *Número de panojas de una planta promedio (Pta prom), de una planta masculina (Pta masc) y una femenina (Pta fem) de Poa ligularis, por tratamiento.*

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (p≤0,05).

Peso de mil semillas: En la Figura 11 se presentan los valores de peso seco de mil semillas con y sin glumelas para cada tratamiento. En ambos casos no se observaron diferencias entre tratamientos (p>0,05).



	Testigo	N25	N50	N75
Semillas A	0,2030 a	0,1754 a	0,1930 a	0,2074 a
Semillas B	0,1326 a	0,1084 a	0,1262 a	0,1222 a

Figura 11. *Peso promedio (g) de mil semillas de Poa ligularis por tratamiento. Semillas A: con glumelas; Semillas B: sin glumelas.*

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (p≤0,05).

Porcentaje de germinación: El número acumulado diario de semillas germinadas con y sin glumelas por tratamiento se presenta en la Figura 12. Se observó que las semillas con glumelas presentaron mayor germinación en todos los tratamientos al finalizar el periodo de observación ($p<0,05$).

En el Tabla 15 se presentan los porcentajes de germinación por tratamiento y el promedio para las semillas con y sin glumelas.

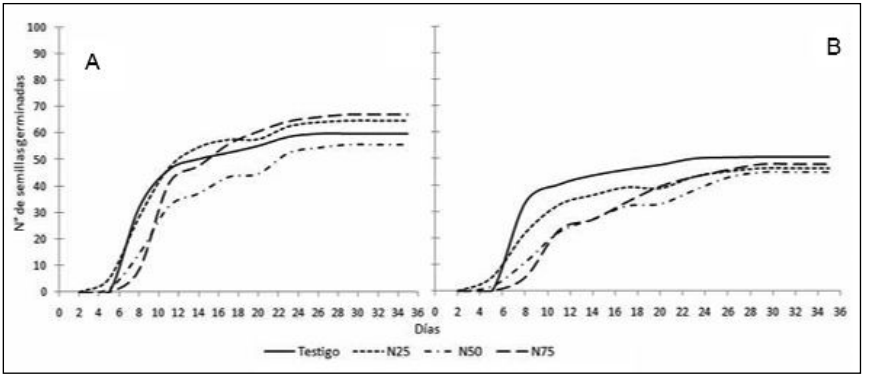


Figura 12. Número acumulado de semillas germinadas por día de Poa ligularis según el tratamiento. A: semillas con glumelas; B: semillas sin glumelas.

	% de germinación	
Tratamientos	**Semillas A**	**Semillas B**
Testigo	59,8 a	50,8 a
N 25	64,8 a	46,6 a
N 50	55,6 a	44,8 a
N 75	67,0 a	48,0 a
Promedio	61,8 a	47,6 b

Tabla 15. Porcentaje de germinación de semillas de Poa ligularis por tratamiento.

A: semillas con glumelas; B: semillas sin glumelas. Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas ($p<0,05$). En el promedio, letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas ($p<0,05$).

No se observaron diferencias significativas en el porcentaje de germinación entre los tratamientos ($p>0,05$) tanto en el caso de las semillas con o sin glumelas. Además, entre los tratamientos, los valores mas altos del porcentaje de germinación se observaron en N75 (semillas A) y en el testigo (semillas B), mientras que el valor mas bajo en ambos casos se observó en N50.

Coeficiente de velocidad: En la Figura 13 se presentan los coeficientes de velocidad de germinación de las semillas con y sin glumelas por tratamiento.

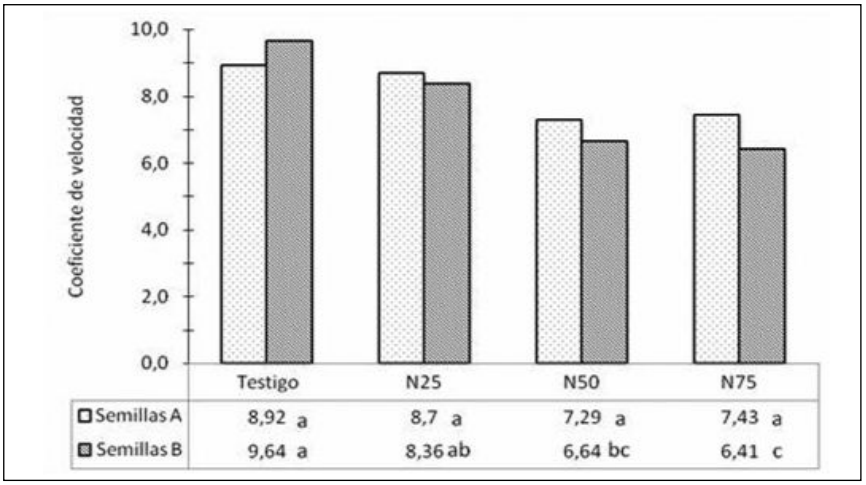


Figura 13. *Coeficiente de velocidad de germinación de semillas de Poa ligularis por tratamiento. A: semillas con glumelas; B: semillas sin glumelas.*

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

Se observó, en ambos casos, mayor coeficiente de velocidad en el testigo que en los tratamientos fertilizados. Además una tendencia del coeficiente de velocidad a disminuir en función de la dosis de N de los tratamientos fertilizados. En las semillas A no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (p>0,05). Sin embargo, en las semillas B, el testigo fue significativamente mayor a N50 y N75 (p<0,05), pero no mostró diferencias con N25.

Piptochaetium napostaense

Para evaluar calidad y producción de semillas de Pna se recolectaron 200 plantas (10 por parcela). Antes de realizarse la trilla manual, se pesaron y se contaron las panojas de cada planta.

En la Tabla 16 se presentan el peso promedio y el número de panojas promedio de una planta de Pna por tratamiento. No se observaron, tanto en el peso promedio de una planta como en el número de panojas promedio, diferencias entre tratamientos (p>0,05). En general, las plantas fertilizadas mostraron mayor peso que las plantas del testigo y entre los tratamientos fertilizados se observó un incremento del peso en función del incremento de la dosis de N, pero estadísticamente no fueron diferentes. En el caso del número de panojas promedio, los tratamientos mostraron aproximadamente los mismos valores.

En la Figura 14 se presentan los pesos promedio de semillas producidas por una planta según el tratamiento. No se observaron diferencias significativas entre éstos (p>0,05). Sin embargo, las plantas del testigo mostraron mayor peso del total de semillas producidas que las plantas fertilizadas.

Tabla 16. *Peso promedio (g MS.planta^{-1}) y número de panojas promedio de una planta de Piptochaetium napostaense por tratamiento.*

	Tratamientos			
	Testigo	**N 25**	**N 50**	**N 75**
Peso promedio	12,28 a	13,82 a	14,95 a	15,29 a
N° de panojas prom.	28,04 a	26,90 a	27,89 a	28,00 a

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

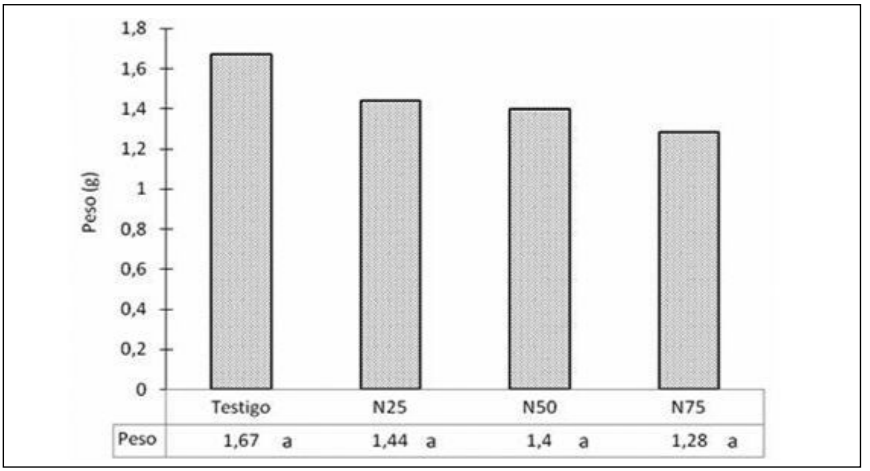


Figura 14. *Peso del total de semillas de una planta (g de semillas.planta^{-1}) de Piptochaetium napostaense por tratamiento.*

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

Peso de mil semillas: En la Figura 15 se presentan los pesos de mil semillas para cada tratamiento, no se observaron diferencias entre tratamientos (p>0,05).

Para determinar el peso de mil antecios se colectaron mil semillas de cada parcela, a las cuales se le extrajeron las aristas y antopodios y se pesaron por separado (Figura 16). No se observaron diferencias en el peso de las mil semillas y los mil antecios entre tratamientos (p>0,05).

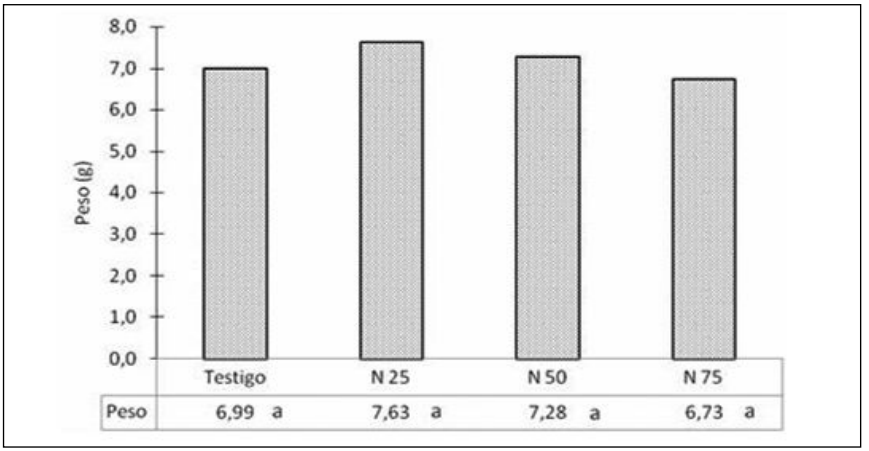


Figura 15. *Peso de mil semillas (g) de Piptochaetium napostaense por tratamiento.*
Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

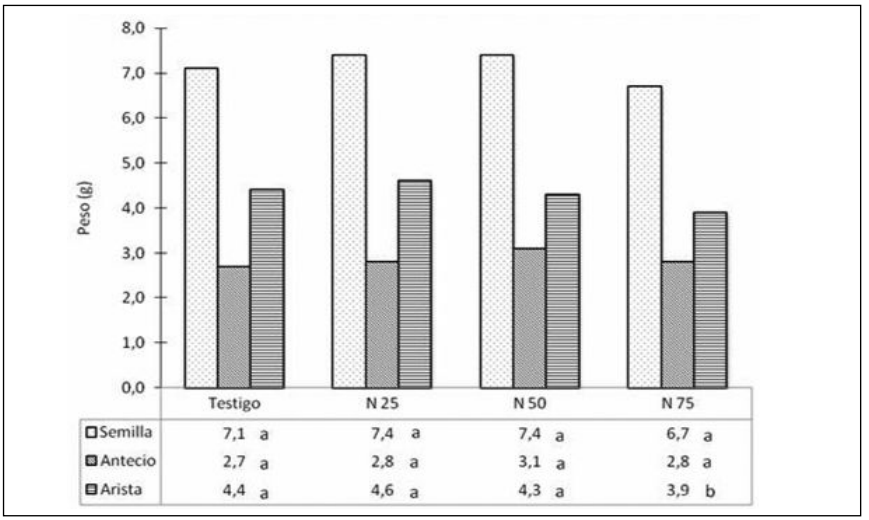


Figura 16. *Peso promedio de mil semillas (g) y sus correspondientes aristas y antecios, de Piptochaetium napostaense por tratamiento.*

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

En el caso de las aristas y antopodios, se observaron diferencias entre tratamientos (p<0,05). El peso de las aristas y antopodios en N75 fue significativamente menor al peso del resto de los tratamientos, mientras que N25 mostró el mayor peso, pero no se diferenció significativamente del testigo y N50 (p>0,05).

A partir de los pesos de mil semillas y del total de semillas por planta se estimó la cantidad de semillas promedio de una planta por tratamiento (Figura 17). Se observó que las plantas del testigo produjeron mayor número de semillas que las de los tratamientos fertilizados, pero no se encontraron diferencias significativas (p>0,05).

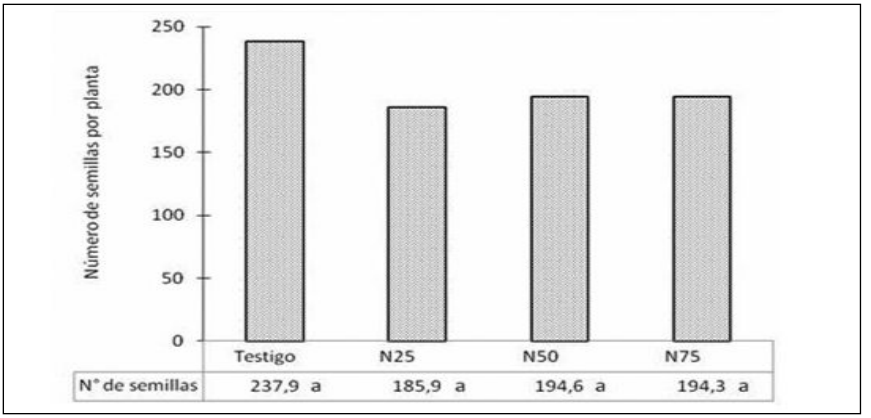


Figura 17. *Número promedio de semillas producidas por una planta de Piptochaetium napostaense según el tratamiento.*

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

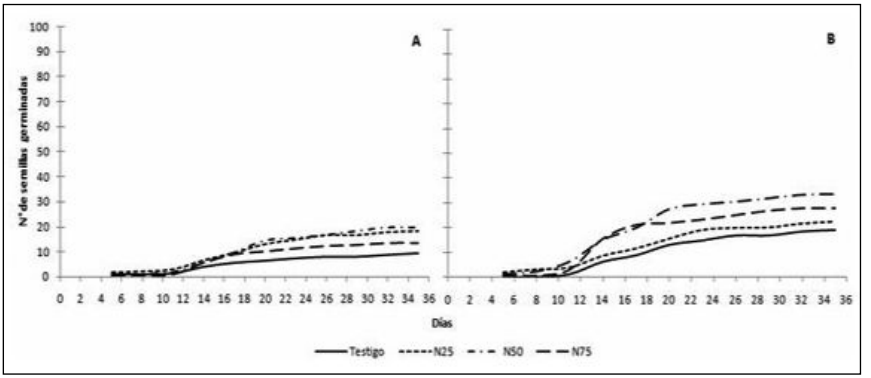


Figura 18. *Número acumulado de semillas germinadas por día de Piptochaetium napostaense por tratamiento. A: semillas con aristas y antopodios; B: semillas sin aristas y antopodio.*

Porcentaje de germinación: En la Figura 18 se presenta el número acumulado diario de semillas germinadas con (A) y sin (B) arista y antopodio por tratamiento. Se observó que las semillas sin arista y antopodio presentaron

Tratamiento	% de germinación Semillas A	Semillas B
Testigo	9,2 a	19,0 a
N 25	18,2 a	22,6 a
N 50	19,6 a	33,4 a
N 75	13,6 a	27,8 a
Promedio	15,2 b	25,7 a

Tabla 17. Porcentaje de germinación de semillas de Piptochaetium napostaense por tratamiento.

A: semillas con aristas y antopodios; B: semillas sin aristas y antopodio. Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (p≤ 0,05). En el promedio, letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

mayor numero de semillas germinadas en todos los tratamientos, al finalizar el periodo de observación (p<0,05).

Los porcentajes de germinación para las semillas con y sin arista y antopodio se presentan en la Tabla 17. Se observo que en ambos casos los tratamientos fertilizados presentaron valores más altos que el testigo, pero no se diferenciaron significativamente (p>0,05).

Coeficiente de velocidad: En la Figura 19 se presentan los valores del coeficiente de velocidad de germinación para las semillas A y B por tratamiento.

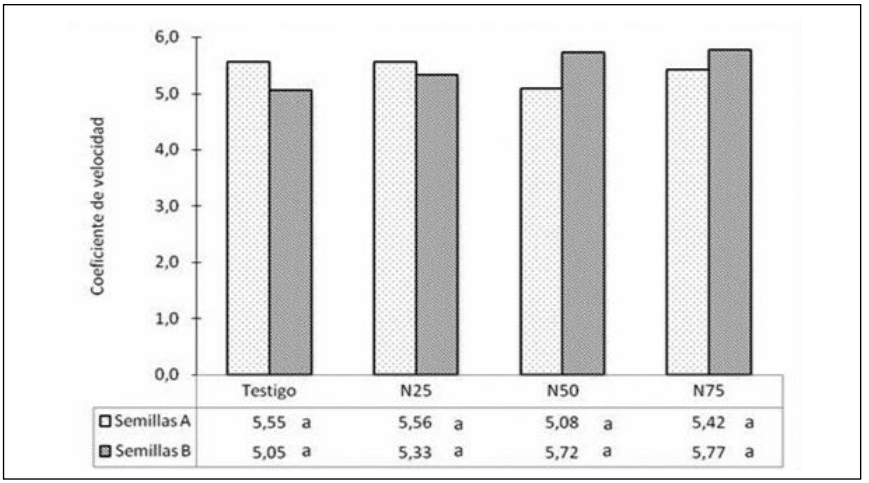


Figura 19. Coeficiente de velocidad de germinación de semillas de Piptochaetium napostaense por tratamiento. A: semillas con aristas y antopodios; B: semillas sin aristas y antopodio.

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

No se observaron diferencias significativas en el coeficiente de velocidad entre semillas, tampoco éstas mostraron diferencias entre los tratamientos (p>0,05).

Stipa tenuis

En la Tabla 18 se muestran el peso y número promedio de panojas de una planta de Stipa tenuis, por tratamiento. No se observaron diferencias significativas de peso en las plantas entre tratamientos (p>0,05). En el número promedio de panojas se observaron diferencias significativas entre tratamientos, el testigo presentó el mayor valor, diferenciándose de N25 y N75. Sin embargo, N50 no mostró diferencias significativas con el resto de los tratamientos (p>0,05).

En la Figura 20 se presentan los pesos del total de semillas producidas por una planta por tratamiento. Se observaron diferencias significativas entre éstos, las plantas del testigo mostraron mayor peso del total de semillas pro-

Tabla 18. *Peso promedio (g MS.planta^{-1}) y número de panojas promedios de una planta de Stipa tenuis según el tratamiento.*

	Tratamientos			
	Testigo	**N25**	**N50**	**N75**
Peso promedio	11,36 a	12,60 a	14,79 a	14,38 a
N° de panojas prom.	41,6 a	34,7 b	37,4 ab	31,8 b

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

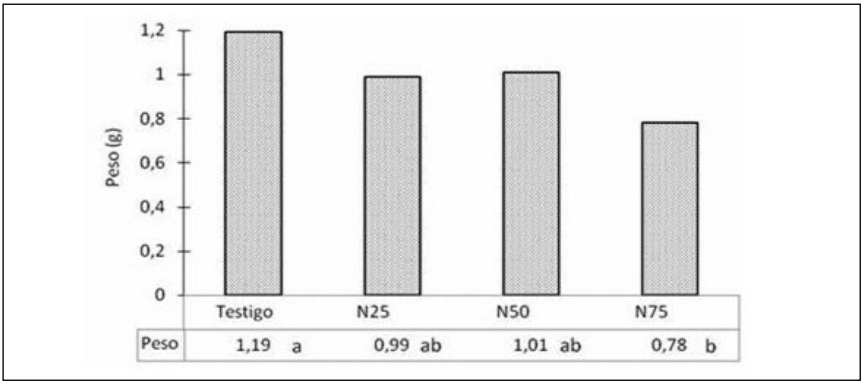


Figura 20. *Peso promedio del total de semillas producidas por una planta (g de semillas.planta^{-1}) de Stipa tenuis por tratamiento.*

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

ducidas que las plantas fertilizadas ($p<0,05$). El peso del total de semillas producidas de las plantas del testigo fue significativamente mayor a la de N75, mientras que las plantas de N25 y N50 no mostraron diferencias significativas con los restantes tratamientos.

Peso de mil semillas: Los valores del peso promedio de mil semillas por tratamiento se muestran en la Figura 21. No se observaron diferencias significativas entre éstos ($p>0,05$).

En la Figura 22 se presentan los pesos de mil semillas y de sus antecios y

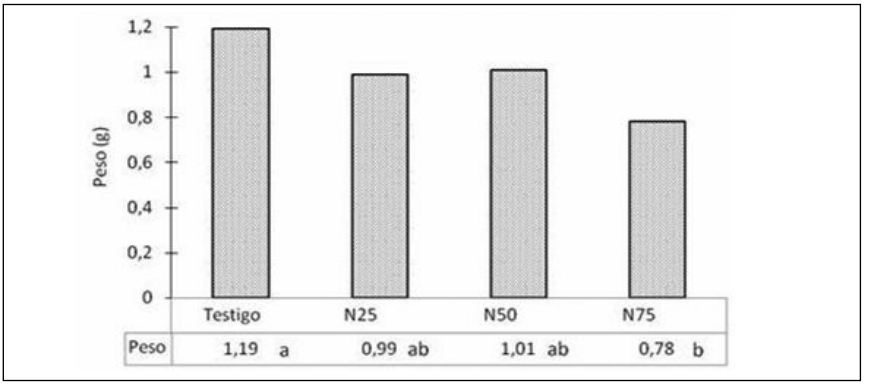


Figura 21. *Peso de mil semillas (g) de Stipa tenuis por tratamiento.*

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas ($p<0,05$).

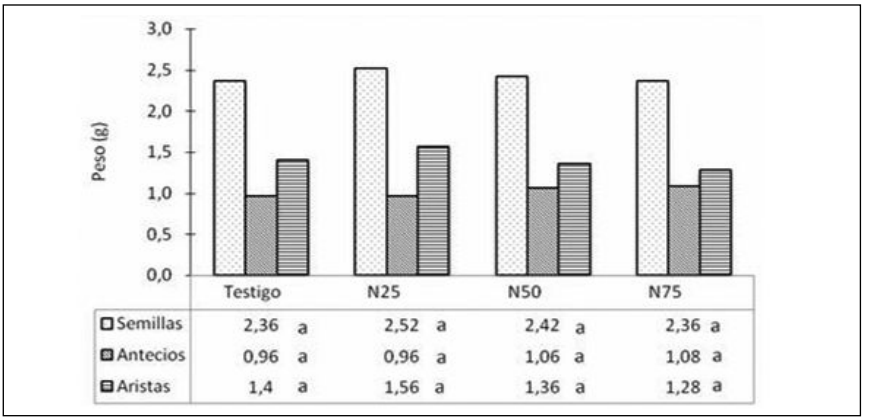


Figura 22. *Peso promedio de mil semillas (g) y de sus correspondientes aristas y antecios, de Stipa tenuis por tratamiento.*

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas ($p<0,05$).

aristas, por tratamiento. Tanto en el peso de las semillas como en el peso de los antecios y aristas no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (p>0,05).

La cantidad de semillas promedio producidas por una planta según el tratamiento se presenta en la Figura 23. Las plantas de los distintos tratamientos mostraron diferencias significativas en la cantidad de semillas producidas (p<0,05). Se observó que la producción de semillas de las plantas del testigo fue significativamente mayor a las plantas de N25 y N75, mientras que las de N50 no mostraron diferencias significativas con el resto de los tratamientos.

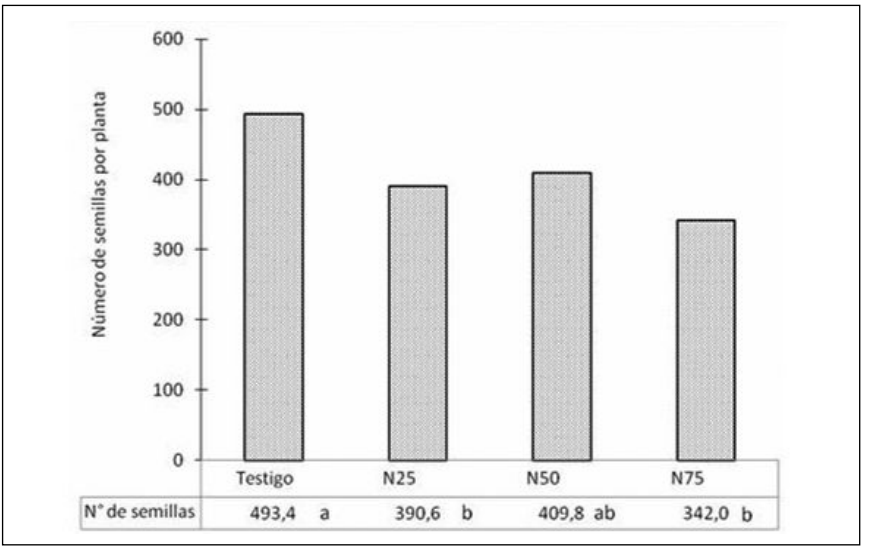


Figura 23. *Número promedio de semillas producido por una planta de Stipa tenuis por tratamiento.*

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

Porcentaje de germinación: En la Figura 24 se muestra el número acumulado diario de semillas germinadas con (A) y sin (B) aristas y antopodios. Se observó que las semillas B presentaron mayor número acumulado de semillas germinadas en todos los tratamientos que las semillas A, pero no se diferenciaron significativamente (p>0,05).

Con respecto al porcentaje de germinación, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (p>0,05) entre las semillas A y B (Tabla 19). Sin embargo, en ambos casos el testigo mostró el valor más alto, y N75 el más bajo.

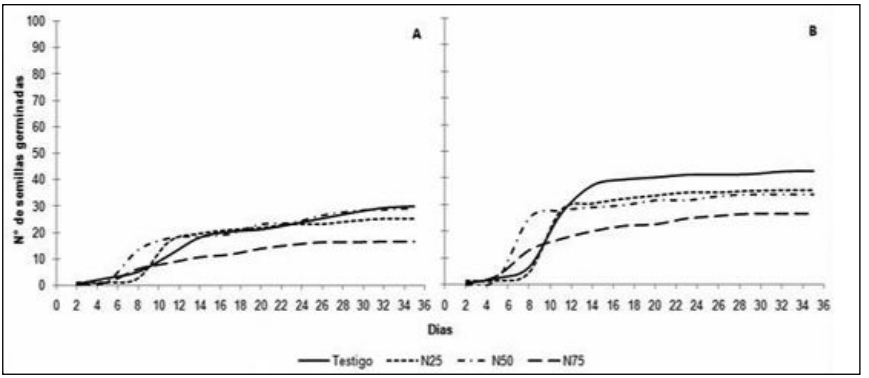


Figura 24. Número acumulado de semillas germinadas por día de Stipa tenuis por tratamiento. A: semillas con aristas y antopodios, B: semillas sin aristas y antopodios.

	% de germinación	
Tratamiento	Semillas A	Semillas B
Testigo	29,8 a	42,8 a
N 25	25,2 a	35,4 a
N 50	27,8 a	34,0 a
N 75	16,4 a	26,8 a
Promedio	24,9 a	34,8 a

Tabla 19. Porcentaje de germinación de semillas de Stipa tenuis según el tratamiento.

A: semillas con aristas y antopodios, B: semillas sin aristas y antopodios. Letras distintas en una misma columna indican diferencias significativas (p≤0,05). En el promedio, letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (p≤0,05).

Coeficiente de velocidad: Los valores del coeficiente de velocidad de las semillas A y B por tratamiento se presentan en la Figura 25. Se observaron diferencias significativas en el coeficiente de velocidad entre los tipos de semillas A y B. Las semillas B presentaron mayores valores de velocidad que las semillas A en todos los tratamientos ($p<0,05$).

Entre tratamientos, las semillas A no mostraron diferencias significativas en el coeficiente de velocidad ($p>0,05$). Por su parte, las semillas B presentaron el mayor coeficiente de velocidad en N50 ($p<0,05$), mientras que el resto de los tratamientos no mostraron diferencias significativas ($p>0,05$).

Bajo las condiciones en que se realizó este trabajo, la incorporación de nitrógeno no afectó el peso de mil semillas ni el porcentaje de germinación en las especies Ste y Pna. Sin embargo en Ste, las plantas fertilizadas presentaron menor número de semillas en correspondencia con el menor número de panojas (Campos *et al*., 2009).

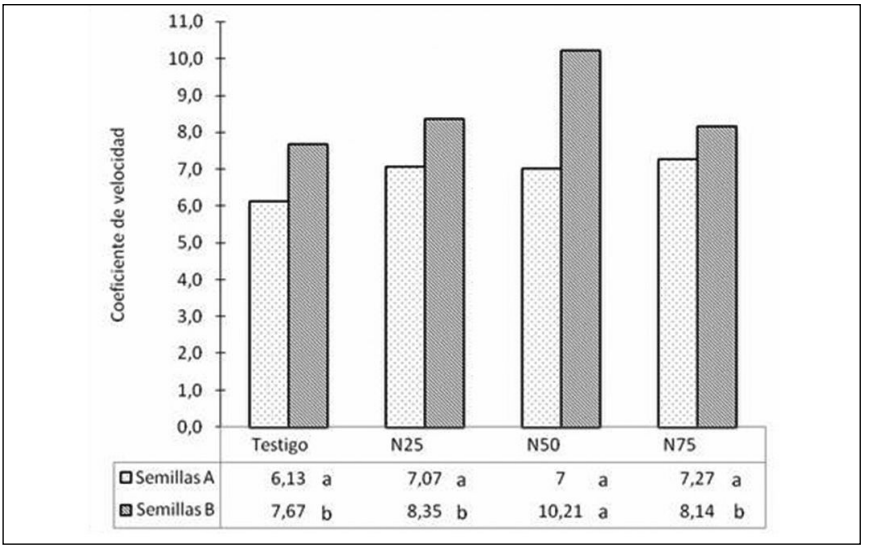


Figura 25. *Coeficiente de velocidad de semillas de Stipa tenuis por tratamiento. A: semillas con aristas y antopodios, B: semillas sin aristas y antopodio.*

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

Los bajos porcentajes de germinación se deberían al grado de dormancia de las semillas recién cosechadas. El despunte de semillas de Pna y de Ste afectaría positivamente la germinación. Los resultados son promisorios para estimular el desarrollo tecnológico que realice el despunte de semillas en flechillas. Esto permitirá la rápida recuperación de pastizales degradados mediante siembra con cajones convencionales (Adema *et al.*, 2009).

Preferencia / selectividad animal

En el año 2008, al final del período de crecimiento de las especies mesotérmicas y después de la última evaluación del pastizal, éste se sometió a pastoreo con vacas de cría a razón de 4,5 EV/ha. A los dos días de ingresados los animales, se realizó una inspección ocular de cada parcela de acuerdo a la clasificación presentada en la Tabla 20.

Sin comer (S/C)	0 – 25 % de la parcela comida
Parcialmente comido (½ C)	25 – 50 %
Comido (C)	50 – 75 %
Bien comido (BC)	75 – 100 %

Tabla 20. *Criterio de clasificación para estimar el grado de consumo de cada parcela.*

Las evaluaciones se realizaron sobre los diseños 2 y 3, y los resultados se presentan en los esquemas siguientes.

Evaluación sobre el Diseño 2

C	C	½ C	BC
N_{25}	N_{50}	Testigo	N_{75}
C	½ C	BC	S/C
N_{50}	N_{25}	N_{75}	Testigo
C	½ C	C	S/C
N_{75}	Testigo	N_{50}	N_{25}
C	½ C	BC	S/C
N_{50}	N_{25}	N_{75}	Testigo
½ C	C	½ C	½ C
Testigo	N_{75}	N_{25}	N_{50}

Evaluación sobre el Diseño 3

½ C	½ C	C	C	C
N_{25}	Testigo	N_{50}	N + P	N_{75}
S/C	C	BC	S/C	C
N_{25}	N_{75}	N + P	Testigo	N_{50}
S/C	BC	½ C	BC	C
N_{25}	N_{50}	Testigo	N_{75}	N + P
S/C	C	BC	BC	½ C
N_{25}	N + P	N_{75}	N_{50}	Testigo
½ C	BC	BC	½ C	BC
N_{25}	N_{50}	N + P	Testigo	N_{75}

En los esquemas se puede observar que el tratamiento Testigo y N25 estuvieron siempre clasificados entre las categorías S/C y ½C, excepto el tratamiento N25 en una lectura que se lo clasificó como C. Los tratamientos N50, N100 y N+P, fueron clasificados entre C y BC, excepto una parcela N50 del diseño 2 que se clasificó como ½ C.

Las observaciones realizadas corroboran, desde la selectividad/preferencia animal, la calidad de los pastizales según sean fertilizados o no y en qué dosis. Las imágenes siguientes ilustran lo observado en los esquemas.

Eficiencia de uso del fertilizante (EUF)

Los datos de la Tabla 21 muestran la EUF (kg MS.kgF^{-1}) en cada tratamiento.

El tratamiento más eficiente en la utilización del fertilizante en los tres años analizados fue N50, aunque en distintas magnitudes, debido a las diferentes producciones obtenidas en el pastizal en los distintos años. N+P fue el tratamiento que mayor producción de materia seca tuvo (5849,4 kg MS.ha^{-1} en 2004), pero el menos eficiente en la conversión del fertilizante a materia seca. El tratamiento N100 tuvo valores intermedios entre N50 y N+P.

La escasa evolución de los suelos y consecuentemente su baja dotación de nutrientes generan una alta respuesta del pastizal a la fertilización, en particular en años con abundantes precipitaciones. Estos resultados muestran que la máxima EUF se logró con la incorporación de 50 kg.ha^{-1} de N, por ser este macronutriente el más limitante en el suelo y que, aplicado en dosis moderadas, optimiza la producción de forraje.

	EUF - 2003 (kg MS.kgF^{-1})	EUF - 2004 (kg MS.kgF^{-1})	EUF - 2005 (kg MS.kgF^{-1})
N50	3,5	46,3	18,0
N100	1,9	23,7	9,0
N+P	1,2	17,2	7,5

Tabla 21. *Eficiencia de uso del fertilizante en tres años de evaluación.*

conclusiones

La incorporación de macronutrientes, principalmente nitrógeno, en otoño aumenta la producción y calidad de forraje de los pastizales de la región semiárida pampeana, con predominio de gramíneas mesotérmicas. La dosis adecuada donde se compensen aspectos productivos y económicos sería de 50 $kg.ha^{-1}$ de nitrógeno.

Se observa un aumento en la eficiencia de uso de agua por las plantas, en particular en años húmedos. Mientras, el uso consuntivo del agua es igual a la lluvia acumulada en igual período. Esto indica un escaso o nulo almacenamiento de agua en el suelo a través del año, haciendo que la producción del pastizal dependa principalmente de las precipitaciones.

La fertilización de pastizales con predominio de especies invernales, constituye una herramienta de manejo alternativa o complementaria cuando las condiciones hídricas a principios de otoño sean propicias, es decir, que haya agua temporalmente almacenada en el suelo y se prevea un año con precipitaciones iguales o superiores a la media.

Esta práctica debería estar asociada a otras estrategias de manejo, como el control del monte y un adecuado manejo ganadero, para así asegurar la conservación del ambiente.

El desarrollo de tecnología para el procesado de semillas de Pna y Ste, permitirá la rápida recuperación de pastizales degradados mediante siembra con cajones convencionales.

Agradecimientos
Los autores desean agradecer el esfuerzo y apoyo de colegas, ayudantes de campo y laboratoristas, en las distintas etapas de este trabajo.

bibliografía

• Adema E., S. Campos, L. Butti y F. Frank. 2009. Efecto del despunte de semillas de flechilla sobre la capacidad de germinación. Libro de Resúmenes V Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales, II Congreso del MERCOSUR y I Jornada técnica de productores sobre Manejo de los Pastizales Naturales. 13 y 14 de Agosto.

• Adema E., D. Buschiazzo, F. Babinec, T. Rucci y V. Gómez Hermida. 2004a. Mechanical control of shrubs in a semiarid region of Argentina and its effect on soil water content and grassland productivity. Agricultural Water Management. 68: 185-194.

• Adema, E., A. Pordomingo, A. y T. Rucci. 2004b. Manejo ganadero de un monte rolado en La Pampa. Libro de Resúmenes II Reunión Binacional de Ecología. 31 de Octubre al 5 de Noviembre.

• Adema E., D. Buschiazzo, F. Babinec, T. Rucci y V. Gomez Hermida. 2003. Balance de agua y productividad de un pastizal rolado en Chacharramendi, La Pampa. Publicación Técnica Nº 50. EEA Anguil, INTA. 20 p.

• Adema, E. y F. Babinec. 2002. Área accesible al pastoreo en un arbustal-pastizal rolado de Chacharramendi, La Pampa. Actas VIII Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales. Santa Rosa. La Pampa. Págs. 49-51.

• Adema E., V. Gomez Hermida, D. Buschiazzo, F. Babinec, C. Ibarguren y T. Rucci. 2001. Rolado de arbustos e intersiembra de Panicum coloratum en un pastizal natural de La Pampa. En: Siembra Directa II. Ed. INTA. Págs. 303-309.

• Adema E., H. Martínez y M. Montes. 1995. Informe de suelos y vegetación campo Anexo INTA Chacharramendi (L.P.). EEA Anguil – INTA / Ministerio de Asuntos Agrarios (L.P.). Dirección de Suelos y Pastizales Naturales. 25 p.

• Butti L., J. Bernardos, E. Adema, F. Babinec y T. Rucci. 2007. Efecto de la fertilización de otoño en la composición de especies mesotérmicas de un pastizal semiárido de La Pampa (Argentina). Libro de Resúmenes IV Congreso Nacional Sobre Manejo de Pastizales Naturales. I Congreso del MERCOSUR Sobre Manejo de Pastizales Naturales. Villa Mercedes, San Luis, Argentina. 9 al 11 de agosto.

• Butti L., E. Adema y F. Babinec. 2005. Producción y calidad de un pastizal fertilizado en el ecotono Caldenal – Monte Occidental, La Pampa. Revista Científica Agropecuaria de la Facultad Ciencias Agrarias de la UNER. 9(2):153-162.

• Bissio J. 1996. Fertilización fosfórica y nitrogenada de un pastizal de Cola de Zorro, Pasto Horqueta y Pasto Macho. EEA Reconquista INTA. Publicación para Extensión Nº 60.

• Cable, D. 1980. Seasonal patterns of soil water recharge and extraction on semidesert ranges. Journal of Range Management. 33:9-15.
• Campos S., E. Adema, L. Butti y F. Frank. 2009. Producción y calidad de semilla de Stipa tenuis PHIL. y Piptochaetium napostaense (SPEG.) Hackel en un pastizal fertilizado con nitrógeno. Libro de Resúmenes V Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales, II Congreso del MERCOSUR y I Jornada técnica de productores sobre Manejo de los Pastizales Naturales. 13 y 14 de Agosto.
• Campos S. 2008. Producción y calidad de forraje y semilla en un pastizal del ecotono Caldenal y Monte Occidental fertilizado con nitrógeno. Tesina de grado. UNLPam. 59 p.
• Cano E. 1988. Pastizales naturales de La Pampa. Descripción de las especies más importantes. Tomo I. Convenio AACREA – Provincia de La Pampa. 425 p.
• Cano E., H. Estelrich, A. Sosa y B. Fernández. 1988. Disponibilidad forrajera en un arbustal de Larrea divaricata en el sudeste de La Pampa – Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía, UNLPam. 3:97-104.
• Cano E., H. Estelrich, A. Sosa, B. Fernández y E. Kasic. 1985. Disponibilidad forrajera de un pastizal de Sorghastrum pellitum en La Pampa. Actas de las I Jornadas de Biología y II Jornadas de Geología de La Pampa. Págs. 6-11.
• Cerqueira, E., A. Sáenz y C. Rabotnikof. 2004. Seasonal nutritive value of native grasses of Argentine Calden Forest Range. Journal of Arid Environments 59:645-656.
• Chaparro C. J. y J. D. Pueyo. 2002. Efecto de la fertilización y fecha de clausura sobre la producción de semilla de Dicanto. Rev. Arg. Prod. Anim. 22(1):89-90.
• Di Rienzo J., F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, C. Robledo. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
• Fernández Grecco, R. 2001. Efecto de la fertilización nitrogenada invernal sobre la acumulación de forraje de un pastizal natural de la Pampa Deprimida, Argentina. Agricultura Técnica (Chile). 61:319-325.
• Frank, E., E. Llorens y D. Cabral. 1998. Productividad de los pastizales naturales de la Provincia de La Pampa. Subsecretaría de Asuntos Agrarios, Cambio Rural, INTA, SAGPyA. 167 p.
• Houston W. and D. Van Der Sluijs. 1973. Foliar – applied Urea and Ammonium Nitrate fertilizers on shortgrass range. Journal of Range Management. 26:360-364.
• Jacyszyn B. y A. Pittaluga. 1977. Suelos del área de Chacharramendi. Provincia de La Pampa. INTA. Departamento de Suelos. Castelar. 42 p.
• Kelsey R., A. Nelson, G. Smith y R. Pieper. 1973. Nutritive value of hay from nitrogen fertilized Blue Grama rangeland. Journal of Range Management. 26:292-294.
• López M. and J. Arrúe. 1997. Growth, yield and water use efficiency of winter barley in response to conservation tillage in a semi-arid region of Spain. Soil & Tillage Research. 44:35-54.
• Lutz E., H. Merchán y A. Morant. 1997. Dosis de fertilización con nitrógeno y efecto

residual en la producción de semillas de Phalaris aquatica L. Rev. Arg. Prod. Anim. 17(1):128.

• Pinto, C., O. Zambruno y E. Cano. 1985. Producción forrajera de Bouteoloua gracilis en una temporada de crecimiento. Actas de las I Jornadas de Biología y II Jornadas de Geología de La Pampa. Págs. 25-29.

• Roberto, Z., G. Casagrande y E. Viglizzo. 1994. Lluvias en la Pampa Central. INTA. Santa Rosa. 25 p.

• Romero M., R. Sager, M. Chicahuala y N. Rosa. 2003. Respuesta del pastizal natural del área medanosa con pastizales e isletas de chañar (Geoffroea decorticans) a la fertilización nitrogenada. II Congreso Argentino sobre Manejo de Pastizales. San Cristobal, Santa Fe. Pág. 101.

• Ruiz M. y G. Covas. 2004. Producción de semillas de Bromus auleticus Trin. ex Nees. Momento de fertilización y distanciamiento entre hileras. RIA, 33(1):49-60.

• SAS Institute, Inc. 1998. SAS y STAT user's Guide, Version 6, 2nd Edition. SAS Institute INC. Cary, N. C. 1088 p.

• Subsecretaría de Ecología del Gobierno de La Pampa. 1998. Programa de acción nacional de lucha contra la desertificación. Cartilla de divulgación Nº 6. 13 p.

• Scott, S., R. Jones and W. Williams. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. Crop Science, 24:1192-1199.