

**Efectos de la introducción de especies megatérmicas sobre
características agronómicas y edáficas de un ambiente halomórfico de
la Pampa Inundable**

*Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires,
Área Recursos Naturales*

José Otondo

Ingeniero Agrónomo

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Universidad Nacional de La Plata, 2004.

Becario de INTA, EEA Cuenca del Salado, CERBAS.



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO

Director de tesis

Elizabeth Juliana Jacobo

Ingeniera Agrónoma (Universidad de Buenos Aires)

Magíster (Universidad de Buenos Aires)

Consejeros de Estudios

Miguel Ángel Taboada

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Magíster (Universidad de Buenos Aires)

Doctor (Instituto Politecnico Nacional de Toulouse, Francia)

Carlos Rossi

Ingeniero Zootecnista (Universidad Nacional de Lomas de Zamora)

Magíster (Universidad Nacional de Córdoba)

JURADO DE TESIS

Director de tesis

Elizabeth Juliana Jacobo

Ingeniera Agrónoma (Universidad de Buenos Aires)

JURADO

Edith Liliana Taleisnik

Bióloga (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina)

Magister (Stanford University, USA)

Doctora (Ben Gurion University of the Negev, Israel)

JURADO

Pedro M. Tognetti

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor (Universidad de Buenos Aires)

Fecha de defensa de la tesis: 12 de octubre de 2011

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, institución a la cual me enorgullezco de pertenecer, por haberme otorgado la beca que me permitió realizar esta Maestría.

Agradezco profundamente a Elizabeth Jacobo y Miguel Taboada por su excelente predisposición, paciencia, buen trato y permanente consejo.

Agradezco mis compañeros de INTA (Mariano, Marco, Coco, Dante, Raúl, Gustavo, Andrea, Fico, Ceci, Carla) que con su gran ayuda y compañía hicieron posible esta tesis, y alegran mi trabajo cotidiano.

Finalmente a toda mi familia, y en especial a Lore, Benja y al bebe que viene en camino, por hacerme disfrutar de la vida cada día.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
DECLARACIÓN	IX
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	X
RESUMEN	XI
SUMMARY	XII
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
<i>1.1 OBJETIVO GENERAL</i>	<i>5</i>
<i>1.2 HIPÓTESIS GENERAL DE TRABAJO</i>	<i>5</i>
CAPÍTULO 2. EFECTOS DE LA INTRODUCCIÓN DE ESPECIES MEGATÉRMICAS SOBRE CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE UN AMBIENTE HALOMÓRFICO DE LA PAMPA INUNDABLE	6
<i>2.1 INTRODUCCION</i>	<i>6</i>
<i>2.2 MATERIALES Y METODOS</i>	<i>8</i>
<i>2.2.1 Diseño experimental</i>	<i>8</i>
<i>2.2.2 Mediciones y cálculos</i>	<i>8</i>
<i>2.2.2.1 Registros climáticos</i>	<i>8</i>
<i>2.2.2.2 Variables estructurales</i>	<i>9</i>
<i>2.2.2.3 Variables funcionales</i>	<i>9</i>
<i>2.2.3 Análisis estadístico</i>	<i>10</i>
<i>2.3 RESULTADOS</i>	<i>10</i>
<i>2.3.1 Registros climáticos</i>	<i>10</i>
<i>2.3.2 Variables estructurales</i>	<i>12</i>
<i>2.3.3 Variables funcionales</i>	<i>15</i>
<i>2.4 DISCUSIÓN</i>	<i>17</i>
<i>2.4.1 Variables estructurales</i>	<i>17</i>
<i>2.4.2 Variables funcionales</i>	<i>19</i>
<i>2.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE MANEJO</i>	<i>22</i>

CAPÍTULO 3. EFECTOS DE LA INTRODUCCIÓN DE ESPECIES MEGATÉRMICAS SOBRE CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS DE UN AMBIENTE HALOMÓRFICO DE LA PAMPA INUNDABLE	24
3.1 INTRODUCCIÓN	24
3.2 MATERIALES Y METODOS	25
3.2.1 Diseño experimental	25
3.2.2 Mediciones y cálculos	25
3.2.2.1 Propiedades físicas	26
3.2.2.2 Parámetros indicadores de halomorfismo edáfico	27
3.2.2.3 Materia orgánica	27
3.2.3 Análisis estadístico y relaciones entre variables	27
3.3 RESULTADOS	28
3.3.1 Propiedades físicas	28
3.3.2 Parámetros indicadores de halomorfismo edáfico	31
3.3.3 Materia orgánica	34
3.3.4 Relaciones entre variables	34
3.4 DISCUSIÓN	37
3.4.1 Propiedades físicas	37
3.4.2 Parámetros indicadores de halomorfismo edáfico	39
3.5 CONCLUSIONES	40
CAPITULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES	41
4.1 DISCUSIÓN GENERAL	41
4.2. CONCLUSIONES GENERALES Y APLICACIONES FUTURAS	42
ANEXO I	44
ANEXO II	45
ANEXO III	46
BIBLIOGRAFÍA	49

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Media \pm error estándar de densidad de matas (matas m ⁻²), de <i>C. gayana</i> y <i>P. coloratum</i> durante el período experimental.	12
Tabla 2.2: a) Media \pm error estándar del porcentaje de Cobertura (%) de Especie Dominante (ED), Especie Secundaria (ES), Material Muerto (MM) y Suelo Desnudo (SD), de los recursos forrajeros en las distintas épocas del año. b) Resultados de ANVA para Especie Dominante (ED), Especie Secundaria (ES), Material Muerto (MM) y Suelo Desnudo (SD) de los distintos recursos forrajeros y épocas del año.	14 14
Tabla 2.3: Media \pm error estándar de Producción primaria neta aérea (Kg. MS ha ⁻¹) de los recursos forrajeros en los distintos ciclos de crecimiento.	15
Tabla 2.4: Media \pm error estándar de la Producción primaria neta aérea (Kg. MS ha ⁻¹) durante el ciclo 07-08 de los recursos forrajeros manejados con distinta frecuencia de corte.	16
Tabla 2.5: a) Media \pm error estándar de Fibra Detergente Neutro (%) de la planta entera de los recursos forrajeros manejados con distinta frecuencia de corte. b) Media \pm error estándar de Fibra Detergente Acido (%) de la planta entera de los recursos forrajeros manejados con distinta frecuencia de corte.	16 16
c) Media \pm error estándar de Proteína Bruta (%) de la planta entera de los recursos forrajeros manejados con distinta frecuencia de corte.	17
Tabla 3.1: Media \pm error estándar de Densidad Aparente edáfica (gr. cm. ⁻³) de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.	28
Tabla 3.2: Media \pm error estándar de Contenido hídrico edáfico (%), de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.	29
Tabla 3.3: Media \pm error estándar de Cambio en el Diámetro Medio Ponderado de los agregados de suelo (CDMP), de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.	29
Tabla 3.4: Media \pm error estándar de Tasa de infiltración edáfica (cm. h ⁻¹), de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.	30
Tabla 3.5: Media \pm error estándar de Traficabilidad edáfica (MPa), de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.	31
Tabla 3.6: Media \pm error estándar de pH edáfico a 0–15 cm de profundidad, de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.	31

Tabla 3.7: Media \pm error estándar de Conductividad Eléctrica edáfica (dS m ⁻¹) a 0–15 cm de profundidad, de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.	32
Tabla 3.8: Media \pm error estándar de Relación de adsorción de sodio edáfica a 0–15 cm de profundidad, de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.	32
Tabla 3.9: Media \pm error estándar de pH edáfico a 15-30 cm de profundidad, de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.	33
Tabla 3.10: Media \pm error estándar de Conductividad Eléctrica edáfica (dS m ⁻¹) a 15-30 cm de profundidad, de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.	33
Tabla 3.11: Media \pm error estándar de Relación de adsorción de sodio edáfica a 15-30 cm de profundidad, de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.	34
Tabla 3.12: Media \pm error estándar de Materia orgánica edáfica (%), de los recursos forrajeros y valores de ANVA.	34
Tabla 3.13. Coeficientes de correlación de Pearson y valores p para pH, CE y RAS a 0-15 y 15 - 30 cm de profundidad y Cobertura vegetal.	35
Tabla 3.14. Coeficientes de correlación de Pearson entre Densidad aparente, Cambio en Diámetro Medio Ponderado (CDMP), Tasa de Infiltración, Materia orgánica y Cobertura Vegetal.	35
Tabla 3.15. Análisis de senderos resumido indicando valores p y r (total, directo e indirecto) para las relaciones entre Parámetros Físicos - Parámetros indicadores de Halomorfismo - Cobertura vegetal –M.O.	36

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 2.1:** Temperatura media mensual (°C) para la serie histórica 1957-2009 **11**
(líneas negras) y para los años a) 2005, b) 2006, c) 2007, d) 2008 y e) 2009. f) indica Temperaturas mínimas absolutas registradas durante el período experimental (líneas rojas).
- Figura 2.2:** Precipitaciones acumuladas (mm) entre octubre y marzo para los **12**
cinco ciclos de crecimiento evaluados (barras grises) y para la serie histórica 1957-2009 (línea negra indica el valor medio, línea punteada indica el desvío estándar).
- Figura 3.1:** Relación entre Traficabilidad y Contenido Hídrico para las **37**
especies sembradas (línea punteada), y para las estepas (línea llena).
- Figura 4.1:** Figura 4: Efectos principales de la introducción de *Chloris gayana* **42**
y *Panicum coloratum* sobre las características agronómicas y edáficas de un ambiente halomórfico de la Pampa Inundable.

DECLARACIÓN

“Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original, producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.”

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

CDMP: Cambio en el diámetro medio ponderado

C.E.: Conductividad eléctrica.

DAP: Densidad aparente.

ED: Especie dominante.

ES: Especie secundaria.

FDA: Fibra detergente neutro.

FDN: Fibra detergente ácido.

MM: Material muerto.

MO: Materia orgánica

PB: Proteína bruta.

P.G.: Poder germinativo.

PPNA: Producción primaria neta aérea.

R.A.S.: Relación de adsorción de sodio.

SD: Suelo desnudo.

Efectos de la introducción de especies megatérmicas sobre características agronómicas y edáficas de un ambiente halomórfico de la Pampa Inundable

RESUMEN

En la Pampa Inundable se ha producido un importante aumento de carga animal durante la última década. Para sostenerlo son necesarias alternativas tecnológicas que permitan mejorar las áreas con pastizales menos productivos, como son las estepas de halófitas o bajos alcalino-sódicos. En la presente tesis se evaluaron los efectos de la introducción de *Chloris gayana* (Chloris) y *Panicum coloratum* (Panicum) sobre las características agronómicas y edáficas de un ambiente halomórfico de esta región. Para ello se realizó un experimento a campo al Noreste de la región (35° 24.851´ S., 57° 43.2´ O.), sobre un suelo Natracualf típico donde se sembraron estas especies y se dejaron parcelas con el pastizal natural en clausura (E.Clausura) y pastoreo (E.Pastoreo) como testigo. La implantación de Chloris y Panicum incrementó en 90 % y 117 % respectivamente la Productividad Primaria Neta Aérea respecto de la estepa de halófitas, aunque no superó su calidad nutricional. Las parcelas sembradas duplicaron en cobertura al pastizal natural y el contenido de materia orgánica de sus suelos se incrementó significativamente (3,1 Chloris y 2,8 Panicum vs. 2,1 E.Clausura y 2,25 en E.Pastoreo). Tanto la densidad aparente (1,21 Chloris y 1,24 Panicum vs. 1,31 en las estepas) como el Cambio en Diámetro Medio Ponderado (CDMP) (0,33 Chloris y 0,33 Panicum vs. 0,45 E.Pastoreo y 0,77 E.Clausura) fueron significativamente inferiores en las parcelas sembradas, mientras que la tasa de infiltración del agua (3,19 Chloris y 2,56 Panicum vs. 2 E.Clausura y 1,48 E.Pastoreo) fue significativamente superior. Sobre los parámetros de halomorfismo edáfico evaluados se registró sólo una leve disminución del pH superficial que no llegaría a afectar el fuerte carácter sódico del suelo. Concluyendo, tanto *C. gayana* como *P. coloratum* podrían considerarse alternativas promisorias para mejorar ambientes halomórficos, aunque se requiere estudiar mejor aspectos como implantación, supervivencia a bajas temperaturas y excesos hídricos, y efectos fitorremediadores bajo pastoreo.

Palabras clave: *Chloris gayana*, grama rhodes, *Panicum coloratum*, mijo perenne, Natracualf, fitorremediación, *Distichlis*, estepa de halófitas.

Introduction effects of subtropical grasses on agronomic and edaphic characteristics of an halomorphic grassland of the Flooding Pampa

SUMMARY

During last decade, Flooding Pampa rangeland had suffered a strong stocking rate increase. In order to stand it, new technologic alternatives for amelioration lower productivity grasslands areas, like halophytic steppes or sodic soil, are necessary. In this thesis introduction effects of *Chloris gayana* (Chloris) and *Panicum coloratum* (Panicum) on agronomic and edaphic characteristics of an halomorphic grassland were evaluated. Field experiments were carried in Northeast of the region (35° 24.851' S., 57° 43.2' O.), on a Typic Natracualf where this species were sown and plots of natural grassland with (E.Pastoreo) and without grazing pressure (E.Clausura) were kept as control. Results shows that Chloris and Panicum implantation increased aerial net primary production (PPNA) in 90 % and 117 % respectively, compared with the halophytic steppes ($p < 0,001$), although it was not able to improve its nutritional quality. Vegetal cover was duplicated in seeding plots and its soil organic matter contain increased significantly (3,19 Panicum and 2,8 Chloris vs. 2,1 E.Clausura and 2,25 E.Pastoreo) ($p < 0,001$). Bulk density (1,21 Chloris and 1,24 Panicum vs. 1,31 for both steppes) and Change in Mean Weight Diameter (0,33 Chloris and 0,33 Panicum vs. 0,45 E.Pastoreo and 0,77 E.Clausura) were significantly lower in seeding plots and water infiltration rate (3,19 Chloris and 2,56 Panicum vs. 2 E.Clausura and 1,48 E.Pastoreo) was significantly higher ($p < 0,001$). On halomorphic properties there was only a slight pH descent, not able to affect the strong soil sodic character. Concluding, *C. gayana* and *P. coloratum* may be considered as promissory alternatives for amelioration halomorphic grassland, although topics like implantation, low temperatures and hydric excesses survival, and phytoremediation effects in grazing plots requires further studies.

Key words: *Chloris gayana*; Rhodes grass; *Panicum coloratum*; Coloratum panic; Natracualf, bioremediation, *Distichlis*, halophytic steppes.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

La Pampa Inundable o Pampa Deprimida es una extensa planicie de gran heterogeneidad ambiental (León, 1992). Forma parte de la pradera pampeana y ocupa alrededor de 10 millones de hectáreas dentro de la Provincia de Buenos Aires (Burkart et al., 2005), incluyendo las áreas denominadas Depresión del Salado (Vervoorst, 1967) y Región de Laprida (Etchevehere, 1961). Limita al norte con la Pampa Ondulada, al sur con el sistema de Tandilia, al oeste con la Pampa Arenosa y al este con el océano Atlántico. Su clima es templado, subhúmedo en el oeste y húmedo cerca del Atlántico. La temperatura media decrece desde el norte hacia el sur, siendo enero el mes más cálido con 24 °C de temperatura media en el noreste y 20 °C en el sudeste, y julio el mes más frío con 10 °C y 7°C respectivamente. La fecha media de primera helada ocurre a principios de junio en el noreste, anticipándose un mes en el sudeste. La última helada tiene lugar a fin de agosto en el noreste y un mes más tarde en el centro oeste, determinando un período libre de heladas de 260 días en el este y noreste, y de 200 días en el sudeste. La cercanía al océano amortigua los cambios de temperaturas diarias y estacionales, haciendo que el clima sea menos riguroso que el de otras regiones de similares latitudes. Presenta un régimen hídrico isohigro, con pequeñas diferencias entre estaciones y su precipitación media anual es de 1050 ± 263 mm. (Período 1977 – 2009, INTA GOT Salado Norte). La escasa pendiente del relieve no ha permitido el desarrollo de una red de drenaje importante (Kovacs, 1983), determinando que la evapotranspiración sea el principal factor de descarga del agua (Sala *et al.*, 1978). Por ello, los excesos hídricos que se registran durante el invierno suelen ocasionar encharcamientos periódicos e inundaciones en sectores deprimidos (Damario y Pascale, 1988; Lemcoff, 1992). En cambio, durante el verano se registra un balance hídrico negativo que ocasiona períodos de sequía. La napa freática suele encontrarse a poca profundidad y varía en función del total de precipitaciones anuales, alcanzando el máximo a fin de invierno y principio de primavera y el mínimo a fin de verano y principio de otoño, coincidiendo con los periodos en que ocurren inundaciones y sequías respectivamente (Lavado y Taboada, 1988).

El 60 % de los suelos de la región se incluyen en el régimen ácuico y se encuentran afectados por procesos de hidro-halomorfismo (INTA, 1990). Poseen textura franca a franca fina y presentan en profundidad un horizonte arcilloso sódico poco permeable (horizonte nátrico), sobre el cual se acumula el agua de lluvia que ocasiona la mayoría de las inundaciones (Lavado y Taboada, 1988). Estos suelos pertenecen a los Grandes Grupos de los Natracuoles y Natracualfes (U.S. Soil Taxonomy), y ocupan las áreas bajas o cóncavas del relieve, disponiéndose tanto en grandes extensiones de cientos de hectáreas (Berasategui y Barberis, 1982), como en pequeños parches. Además presentan un proceso de salinización y sodificación, resultado de la interacción del clima, la geomorfología, la hidrología, el uso del suelo y las propiedades del agua freática y de la dinámica de las sales. Alrededor del 90 % de los problemas de salinidad y sodicidad en estos suelos se asocian con ascensos de agua subterránea (Taboada y Lavado, 2003). En menor extensión también están presentes los Grandes Grupos de los Natralboles y Argialboles. El suelo clímax de la región está representado por los Hapludoles y Argiudoles, que se encuentran en las partes altas del paisaje.

Los pastizales naturales ocupan actualmente alrededor del 75 % de la superficie de la región (Baldi *et al.*, 2006). Están compuestos por especies C3 y C4 que distribuyen su producción en el tiempo y en el espacio, asociándose en comunidades vegetales (Sala *et al.*, 1981; Perelman *et al.*, 2001). Estas comunidades ocupan posiciones más o menos definidas en el paisaje y se correlacionan con Grandes Grupos de suelos (Batista *et al.*, 2005). Por un lado se encuentran los ambientes altos o positivos donde cobran mayor importancia las especies C3, de producción otoño-invierno-primaveral, y se describen dos comunidades con características diferenciales: (i) la pradera de mesófitas (loma), ubicada en áreas convexas, sin problemas de anegamiento, con suelos bien drenados y una producción anual estimada de 7450 Kg. MS ha⁻¹ año⁻¹; y (ii) la pradera húmeda de mesófitas (tendidos), ubicada en planicies ligeramente onduladas, con suelos más someros, problemas de halomorfismo en profundidad y una producción forrajera estimada en 5500 Kg. MS ha⁻¹ año⁻¹. Por otro lado se encuentran los ambientes bajos o cóncavos donde dominan las especies C4, de producción primavera estivo-otoñal, y se describen otras dos comunidades: (iii) la pradera de hidrófilas (bajo dulce), ubicada en áreas con relieve plano o plano cóncavo, frecuentemente anegadas, sin marcada alcalinidad, con una producción estimada en 6600 Kg. MS ha⁻¹ año⁻¹; y (iv) la estepa de halófitas (bajos alcalinos-sódicos), ubicada en ambientes anegadizos, con severas condiciones de alcalinidad-salinidad (hidro y halomorfismo) y una producción anual que no supera los 2100 Kg. MS ha⁻¹ año⁻¹ (Hidalgo y Cauhepé, 1991; Batista *et al.*, 2005). La coexistencia de estas comunidades determina que los pastizales presenten tasas de crecimiento elevadas durante la mayor parte del año. Sin embargo, alrededor del 60-70 % de la producción anual de forraje está concentrada entre fines de primavera y principios del verano (Cauhepé y Hidalgo, 2005), manifestando un marcado déficit de forraje en el periodo invernal.

La cría de ganado bovino para carne es la actividad predominante de la región. Se realiza casi exclusivamente sobre los pastizales naturales, que con su dinámica estacional, productividad y calidad, determinan el manejo de los rodeos. El servicio de las vacas se realiza durante primavera y verano, concentrándose las pariciones en invierno y primavera, y los destetes durante el otoño siguiente. La carga animal promedio de las últimas décadas ha sido de 0,6 – 0,7 equivalentes vaca ha⁻¹ año⁻¹, con un promedio de destete del 80 %, y un peso promedio al destete de 160-180 kilogramos. Estos valores determinan que la producción de carne promedio de la región sea de 70 Kg. ha⁻¹ año⁻¹ (Cauhepé y Hidalgo, 2005). Sin embargo, durante la última década la región registró un notable aumento de la carga animal por hectárea ganadera (Vázquez *et al.*, 2008). El stock vacuno se incrementó hasta fines de 2006 en más de un millón de cabezas y la ganadería cedió a la agricultura un 10 % de su superficie (Maresca, 2010). Los ambientes altos, tradicionalmente utilizados para la confección de reservas y/o implantación de verdeos/pasturas (Carrillo y Schiersmann, 1994), fueron reemplazados por cultivos de verano, principalmente soja (Maresca, 2010), concentrándose la hacienda en los ambientes bajos. Para cubrir el déficit de forraje invernal, comenzaron a utilizarse los rastrojos de cosecha y se difundió masivamente una nueva práctica conocida como “promoción de raigrás anual” (*Lolium multiflorum* L.). La misma consiste en pulverizar el pastizal con glifosato a fin de verano y luego fertilizar para favorecer el establecimiento del raigrás presente en el banco de semillas del suelo (Tommasone, 1997). Si bien esta práctica contribuyó a cubrir el déficit de forraje invernal a través de modificar la estacionalidad de producción, transformando pastizales primavero estivales en verdeos invernales, condujo al empobrecimiento del pastizal por eliminación de forrajeras nativas y naturalizadas de crecimiento estival (Jacobo *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 2007; Fernández *et al.*, 2008). La reducción del crecimiento

estival del pastizal generó un nuevo problema, el déficit de forraje durante verano en ambientes tradicionalmente caracterizados por su alta productividad estival (CREA sudeste, comunicación personal). Sumado a esto, una serie de primaveras secas afectaron negativamente la productividad de los pastizales naturales (Vázquez, comunicación personal, Recavarren y Martinefsky, 2009).

Ante este nuevo escenario, resulta necesario implementar alternativas tecnológicas que permitan incrementar la producción de forraje durante el verano y con ello mantener las cargas ganaderas actuales en ambientes marginales para agricultura. Una alternativa sería mejorar la receptividad de las comunidades menos productivas del pastizal natural, como son las estepas de halófitas o bajos alcalino-sódicos. Estas comunidades ocupan aproximadamente un 16 % de la superficie de la Pampa Inundable (Burkart *et al.*, 2005). Su productividad primaria neta aérea (PPNA) no supera los 2100 Kg. MS ha⁻¹ año⁻¹ (Hidalgo y Cauhepé, 1991), ya que están dominadas por especies de baja tasa de crecimiento y digestibilidad como *Distichlis spicata* y *D. scoparia* (Hidalgo *et al.*, 1998), por lo que son pastoreadas esporádicamente por el ganado vacuno (Escobar, 1995). Se asocian principalmente a suelos Natracualfes (Batista *et al.*, 2005), que cubren más de un millón de hectáreas de la región (Lavado *et al.*, 1992). Estos suelos presentan régimen ácuico por influencia de la capa freática poco profunda, características nátricas y de drenaje impedido (Taboada y Lavado, 1986). Se caracterizan por poseer bajos contenidos de materia orgánica, altos contenidos de limo, estructura masiva y de fácil dispersión, y pobre estabilidad estructural (Alconada *et al.*, 1993). Debido a ello suelen presentar compactaciones (costras superficiales), baja permeabilidad, poca aireación, restringida oportunidad de laboreo, y condiciones adversas para el crecimiento radical. Químicamente poseen pH alcalino, lo que hace que baje la solubilidad de algunos nutrientes como el P, Ca, Fe, Mn y los micronutrientes. Estas características físico-químicas determinan un régimen hídrico extremo que limita fuertemente la capacidad de retención de agua útil para las plantas (Rengasamy y Summer, 1998; Oster *et al.*, 1999). Durante períodos prolongados (en general en invierno), su contenido de humedad se mantiene por encima de la capacidad de campo, y saturados o próximos a saturación en los horizontes subsuperficiales. En los veranos relativamente secos y aún normales, la situación se revierte, provocando que los primeros centímetros del suelo no contengan agua útil por varios días (Sánchez *et al.*, 1976). Por todo ello, son los ambientes que mayor limitación poseen para mejorar la condición de la vegetación natural y para la implantación de cultivos agrícolas y/o pasturas con mezclas de especies forrajeras templadas.

Entre las alternativas consideradas para mejorar la receptividad de estos ambientes se encuentran: (i) el agregado de enmiendas químicas (Mendoza y Barberis, 1980; Costa y Godz, 1998), (ii) la aplicación de fertilizantes (Ginzo *et al.*, 1986), y (iii) la retención de agua para evitar los ascensos de sales y/o fomentar el lavado de las mismas (Alconada *et al.*, 1993). Estas opciones poseen restricciones técnicas, logísticas y económicas, debido a factores tales como la falta de previsibilidad de las lluvias, las dificultades de drenaje por características intrínsecas del suelo, la presencia de la napa freática cercana a la superficie y los altos costos de las enmiendas y fertilizantes (Lavado y Taboada, 1988; Qadir y Oster, 2002). Otra alternativa para mejorar estos ambientes es la técnica conocida como fito-remediación, que consiste en la incorporación de especies que poseen alta producción de biomasa acompañada por la capacidad de tolerar ambientes extremos (Ghaly, 2002; Kaur *et al.*, 2002; Qadir y Oster, 2002). Las ventajas de la fito remediación son su baja inversión inicial, la alta disponibilidad de nutrientes en el suelo luego de la recuperación y los beneficios directos del forraje producido (Qadir y Oster, 2002). La especie utilizada en la región

para este fin ha sido una gramínea templada, el agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum* Podp.) (Casas y Pittaluga, 1984).

La expansión de la ganadería en otras regiones del país (NEA, NOA, semiárida pampeana) se ha sustentado en el aprovechamiento de los pastizales naturales existentes y en la introducción de nuevas especies, en su mayoría gramíneas subtropicales (De León, 2004). Entre ellas se distinguen la grama Rhodes (*Chloris gayana* Kunth), presente en campos ganaderos del noroeste argentino desde 1917 (Guzmán *et al.*, 1988), y *Panicum coloratum* L., de difusión más reciente tanto en el norte como en el centro del país (Petruzzi *et al.*, 2003). Estas especies han mostrado muy buena producción de materia seca establecidas en suelos halomórficos (Pérez *et al.*, 1998; Ricci *et al.*, 2000; Castro *et al.*, 2001; Semple *et al.*, 2003; Deifel *et al.*, 2006; Monti *et al.*, 2009). Ambas poseen temperaturas óptimas para la fotosíntesis entre 30 y 35 °C, por lo cual concentran su producción en verano (Gliessman, 1998). Además toleran la salinidad y alcalinidad (Russell, 1976; Gupta y Abrol, 1990) y la sequía (Petruzzi *et al.*, 2003; Wehrl *et al.*, 2005) y son muy eficientes en el uso del agua (Clark y Lugo, 1986) y del nitrógeno (Ehleringer *et al.*, 1997). Ambas poseen un elevado potencial de producción de materia seca (Cornacchione, 2007; Renolfi *et al.*, 2007 a y b) y calidad suficiente para satisfacer la demanda nutricional del ganado de cría (Petruzzi *et al.*, 2003; Ricci y Toranzos, 2004). *Panicum coloratum* en particular, se destaca por poseer muy buena tolerancia a heladas (Petruzzi *et al.*, 2003) y encharcamientos temporarios (Anderson, 1972). *Chloris gayana* presenta alta tolerancia a la salinidad (Haffar y Alhadrami, 1997; Semple *et al.*, 2003; Deifel *et al.*, 2006), pero su tolerancia al encharcamiento es moderada (Mannetje y Kersten, 1992), aunque estudios recientes han demostrado que inundaciones de hasta 21 días de duración mejoran el crecimiento de sus macollos (Imaz *et al.*, 2008). Posee la capacidad de formar estolones, adaptación que le otorgaría una ventaja respecto al *P. coloratum* durante el establecimiento (Semple *et al.*, 2003).

No existen datos en la literatura sobre el comportamiento de estas especies en suelos Natracualfes de la Pampa Inundable. Podría suponerse que su alta plasticidad fenotípica les permitiría implantarse y alcanzar altos potenciales de producción en este tipo de ambientes, generando forraje útil para cubrir el déficit estival. Adicionalmente, se generaría una mayor biomasa de raíces favoreciendo la condición edáfica a través de la mejora de i) las propiedades físicas, debidas a mejoras en la estructura del suelo, a través de la creación de macroporos y grietas estructurales que disminuyen la densidad aparente (Elkins *et al.*, 1977, Qadir *et al.*, 2007), y el aumento de la estabilidad de los agregados por la producción in situ de polisacáridos e hifas fúngicas (Boyle *et al.*, 1989; Tisdall, 1991); y ii) las propiedades químicas del suelo, ya que el aumento en la presión parcial de CO₂ en la zona de raíces causado por la respiración microbiana y radical provocaría un descenso del pH y un aumento en la solubilidad del carbonato de calcio (CO₃Ca), con el posterior reemplazo del sodio (Na⁺) adsorbido a los coloides del suelo por calcio (Ca²⁺) (Semple *et al.*, 2003).

1.1 OBJETIVO GENERAL:

El objetivo principal de esta tesis fue evaluar los efectos de la introducción de especies megatérmicas sobre características agronómicas y edáficas de un ambiente halomórfico de la Pampa Inundable.

1.2 HIPÓTESIS GENERAL DE TRABAJO:

La introducción de *Chloris gayana* y *Panicum coloratum* en suelos Natracualfes de la Pampa Inundable incrementa la PPNA y calidad nutricional de la comunidad nativa (estepa de halófitas), en consonancia con una mejora de los parámetros físicos y químicos del suelo.

CAPITULO 2

EFFECTOS DE LA INTRODUCCIÓN DE ESPECIES MEGATÉRMICAS SOBRE CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE UN AMBIENTE HALOMÓRFICO DE LA PAMPA INUNDABLE

2.1 INTRODUCCIÓN

Las gramíneas megatérmicas o subtropicales son especies forrajeras que se caracterizan por poseer metabolismo fotosintético C4. Concentran su producción en verano (Gliessman, 1998), toleran muy bien la sequía y son muy eficientes en el uso del agua y el nitrógeno (Clark y Lugo, 1986; Ehleringer *et al.*, 1997; Petruzzi *et al.*, 2003; Wehrl *et al.*, 2005). Además poseen un elevado potencial de producción de materia seca (Cornacchione, 2007; Renolfi *et al.*, 2007a y b) y calidad (Petruzzi *et al.*, 2003; Ricci y Toranzos, 2004) como para satisfacer la demanda nutricional del ganado de cría. Dentro de este grupo de gramíneas se pueden destacar dos especies. Por un lado, *Chloris gayana*, que se encuentra presente en campos ganaderos del noroeste argentino desde 1917 (Guzmán *et al.*, 1988) y se caracteriza por su elevada tolerancia a la salinidad (Haffar y Alhadrami, 1997; Pérez *et al.*; 1998; Semple *et al.*, 2003; Deifel *et al.*, 2006). Esta especie presenta una moderada tolerancia al encharcamiento (t Mannetje y Kersten, 1992), aunque estudios recientes han demostrado que inundaciones de hasta 21 días de duración mejoran el crecimiento de sus macollos (Imaz *et al.*, 2008). Por otro lado, *Panicum coloratum*, de difusión más reciente tanto en el norte como en el centro del país, se destaca por poseer muy buena tolerancia a heladas (Petruzzi *et al.*, 2003) y presentar cierta tolerancia a anegamientos temporarios (Anderson, 1972). Ambas especies establecidas en suelos halomórficos del centro y norte del país, han alcanzado producciones de materia seca entre de 3,3 y 9 toneladas ha⁻¹ año⁻¹ (Pérez *et al.*, 1998; Ricci *et al.*, 2000; Castro *et al.*, 2001; Monti *et al.*, 2009) con calidad suficiente como para satisfacer la demanda nutricional del ganado de cría (Petruzzi *et al.*, 2003; Ricci y Toranzos, 2004). Con respecto a su utilización Ferri *et al.* (2006) y Cornacchione *et al.* (2007) han demostrado que la alta frecuencia de corte puede provocar una mejora sustancial en su calidad nutricional, atribuida a un incremento en la relación hoja/tallo. Sin embargo, dicho incremento en calidad generalmente se asocia a una disminución en la productividad primaria neta aérea (PPNA), por impedir la acumulación de reservas y afectar la tasa fotosintética (Humphreys, 1972).

Hasta el momento no existen registros sobre el comportamiento de *C. gayana* y *P. coloratum* en suelos Natracualfes de la Pampa Inundable. Se plantean como hipótesis de este capítulo que:

i) La alta tolerancia a condiciones de halomorfismo de *C. gayana* y *P. coloratum* posibilitará su establecimiento en suelos Natracualfes de la Pampa Inundable.

ii) Debido a su elevada PPNA en condiciones de halomorfismo, la implantación de estas especies en suelos Natracualfes provocará un incremento en cantidad y calidad nutricional de la materia seca con respecto a la comunidad nativa (estepa de halófitas).

iii) La realización de cortes durante el ciclo de crecimiento de *C. gayana* y *P. coloratum* afectará positivamente su calidad nutricional y negativamente su PPNA.

Para poner a prueba estas hipótesis se plantean los siguientes objetivos:

- a) Evaluar la viabilidad de implantación de *Chloris gayana* y *Panicum coloratum* en ambientes con suelos Natracualf de la Pampa Inundable.
- b) Evaluar la PPNA y la calidad nutricional de ambas especies en estos ambientes.
- c) Evaluar el efecto de la frecuencia de corte sobre la PPNA y la calidad del forraje producido.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el establecimiento “La Larga”, ubicado en el Partido de Punta Indio (límite norte de la Pampa Inundable), próximo a los partidos de Magdalena y Chascomús (35°24'14.51" S y 57°43'24.98" O), sobre un suelo natracualf típico muy homogéneo, correspondiente a la comunidad denominada estepa de halófitas (Perelman *et al.*, 2001). El potrero se manejó con cargas cercanas a 0,35 – 0,45 EV ha⁻¹ año⁻¹ y pastoreo continuo durante los últimos 50 años. La vegetación del pastizal estaba compuesta principalmente por *Distichlis spicata*, *D. scoparia*, y en menor medida por *Sporobolus indicus*, *S. pyramidatus*, *Chloris berroi* y el alga cianofícea *Nostoc commune*. Los suelos, analizados al comienzo del ensayo, presentaron las siguientes características: textura franco arcillo limoso en superficie (25 % de arcilla, 42,5 % de limo y 32,5 % de arena), 2,3 +/- 0,17 % de materia orgánica (media +/- error estándar), 4,5 ppm de fósforo, 9,2 +/- 0,03 de pH en pasta (media +/- error estándar) y 2,16 +/- 0,07 dS m⁻¹ de Conductividad Eléctrica (media +/- error estándar). (Ver Anexo I).

El suelo se preparó durante la primavera de 2004, mediante tres pasadas de rastra de discos aproximadamente a 7 cm. de profundidad. Durante la segunda quincena de diciembre del mismo año se sembró manualmente al voleo *Panicum coloratum* var. Klein Panic (19 % PG) y *Chloris gayana* var. Finecut (312 gérmenes viables por gramo de semilla), a razón de 7 Kg. de semilla por ha. Luego de la siembra se pasó un atado de ramas sobre el suelo para mejorar el contacto semilla suelo. Cada parcela (unidad experimental) tuvo una longitud de 10 m y un ancho de 5 m (50 m²). Para comparar los resultados de la instalación de las especies megatérmicas con la comunidad nativa, se establecieron parcelas en las que se realizó la misma preparación del suelo (pasada de rastra superficial) pero que no fueron sembradas, permitiendo que el suelo se cubra nuevamente por la comunidad nativa. Todas las parcelas permanecieron clausuradas al pastoreo durante el período del ensayo.

Por lo tanto, los tratamientos establecidos fueron:

1. Suelo rastreado + siembra de *Chloris gayana* (Chloris)
2. Suelo rastreado + siembra de *Panicum coloratum* (Panicum)
3. Suelo rastreado (Estepa Clausura)

2.2.1 Diseño experimental

Se estableció un diseño experimental en bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones por tratamiento (los distintos recursos forrajeros) para evaluar la densidad de plantas, PPNA y cobertura vegetal.

Para evaluar el efecto de la frecuencia de corte sobre la PPNA y la calidad nutricional del forraje, el diseño fue parcelas divididas con el recurso forrajero como parcela principal y la frecuencia de corte como subparcela.

2.2.2 Mediciones y cálculos

2.2.2.1 Registros climáticos

Se registraron las temperaturas y precipitaciones durante todo el período experimental (octubre de 2004 a marzo de 2009) y se compararon con los registros históricos (período 1957-2009) de la Base Aero Naval Estación Punta Indio (SMN), ubicada a 38 kilómetros al este nor-este del sitio del ensayo.

2.2.2.2 Variables estructurales

- *Densidad de matas*

Se registró el número de matas vivas al inicio de cada ciclo de crecimiento en tres áreas de 1,44 m² cada una, ubicadas al azar dentro de cada unidad experimental.

- *Cobertura vegetal*

Durante el ciclo 07-08, se estimó la cobertura vegetal en tres oportunidades (enero, mayo y septiembre) correspondientes a diferentes períodos (crecimiento activo, fin de crecimiento y fin de reposo, respectivamente). Se estimó el porcentaje de cobertura de la especie dominante (ED = cobertura relativa mayor a 75 %), de la especie secundaria (ES, segunda especie en importancia respecto de su cobertura relativa), de material muerto (MM) y de suelo desnudo (SD) en cada tratamiento, utilizando un marco de 0,20 m², dividido en veinte rectángulos iguales. Este marco fue arrojado al azar cuatro veces por parcela, y se anotó la presencia de ED, ES, MM, y SD en cada rectángulo.

2.2.2.3 Variables funcionales

- *Producción primaria neta aérea*

Durante cuatro ciclos productivos (05-06, 06-07, 07-08 y 08-09) se estimó la Producción Primaria Neta Aérea (PPNA) de las especies sembradas y de la vegetación de la comunidad laboreada mediante rastra de discos (estepa de halófitas). Para ello, se cosechó al final de cada ciclo de crecimiento (marzo) la materia seca acumulada desde octubre del año anterior, mediante cortes a 7 cm. de altura de la biomasa presente (6 submuestras de 0.36 m² por parcela), de acuerdo al método descrito por Singh *et al.*

(1975). Se utilizó esta metodología de estimación debido a que los recursos forrajeros evaluados poseen un ciclo de crecimiento netamente definido, que comienza a mediados de primavera y finaliza a principios de otoño (Hidalgo y Cauhepé, 1991; DeLeón, 1998), durante el cual no se registra pérdida de material senescente por descomposición. Para estimar la materia seca producida, el material cosechado se secó en estufa a 70°C hasta peso constante, y se pesó.

Todos los años, previo al inicio del ciclo de crecimiento (octubre), se realizaron cortes con una desmalezadora a 7 cm. de altura, para eliminar la biomasa producida durante el ciclo de crecimiento anterior. El material cortado no fue retirado.

Se determinaron las relaciones entre i) la PPNA y las precipitaciones registradas durante el ciclo de crecimiento de las especies sembradas (octubre a marzo) y ii) la PPNA y los valores de cobertura vegetal. Para ello se promedió la PPNA por parcela de los cuatro ciclos evaluados y la cobertura vegetal por parcela de los tres períodos de crecimiento.

- *Frecuencia de corte*

Durante el ciclo 07-08 se establecieron dos frecuencias de corte: i) un sólo corte al final de la estación de crecimiento (Singh *et al.*, 1975) y ii) cortes cada vez que más del 75 % de las plantas de la parcela alcanzaron plena floración. En el caso de la estepa de halófitas, a pesar de no alcanzar plena floración hasta fines de marzo, se la cortó en la misma oportunidad que *Panicum coloratum*. En cada momento de corte se cosechó a 7 cm. de altura la biomasa presente (6 submuestras de 0.2 m² por parcela), se la secó en estufa a 70 °C hasta peso constante, y se la pesó para estimar la materia seca producida. En el caso de la frecuencia ii) se sumaron los valores de materia seca obtenidos en cada corte.

- *Calidad Nutricional*

Con las muestras de materia seca obtenidas durante el ciclo de crecimiento 07-08, se realizaron análisis de laboratorio para evaluar la calidad del material cosechado. Se determinó la proporción de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) basándose en la metodología propuesta por Van Soest *et al.* (1991). Se determinó el contenido de Nitrógeno según la metodología Kjeldahl (AOAC, 1984) y se multiplicó por 6,25 para estimar el contenido de Proteína bruta (PB).

2.2.3 Análisis estadísticos

El análisis de los datos de densidad de plantas, PPNA y cobertura vegetal se realizó mediante ANVA con medidas repetidas debido a que los datos fueron tomados en la misma parcela en distintos momentos del ensayo. Previamente en los datos de cobertura vegetal, los cuales presentaban distribución binomial, se aplicaron transformaciones angulares o arcoseno. Los datos de frecuencia de corte y calidad nutricional se analizaron mediante ANVA, utilizando el recurso forrajero como parcela principal y la frecuencia de corte como subparcela. Para el cálculo de las diferencias mínimas entre medias de tratamientos se utilizó el test de Tukey en todas las variables a excepción de los datos de cobertura vegetal en los que se utilizó Bonferroni. Las relaciones entre PPNA y precipitaciones y cobertura vegetal se analizaron mediante los coeficientes de

correlación de Pearson (r). Todos los análisis se hicieron utilizando el paquete estadístico InfoStat (Infostat, 2007).

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Registros climáticos

Las temperaturas medias registradas durante el período experimental estuvieron dentro del rango abarcado por el promedio histórico y su desvío estándar en la mayoría de los años evaluados (Fig. 2.1). Sólo se apartaron superando dicho rango en julio de 2006 (Fig. 2.1b) y julio y noviembre de 2008 (Fig 2.1d). En el invierno del año 2007 se registraron los valores de temperatura más bajos del período experimental (Fig 2.1c), ocurriendo un evento de nevada histórico e inusual para la zona (9 de julio de 2007). Durante este año, la primera helada (5 de mayo) se anticipó a la fecha media de primera helada (12 de junio \pm 25 días), y la última (5 de noviembre de 2007) fue muy posterior a la fecha media de última helada (14 de agosto \pm 25 días). Esta última helada ocurrió cuando las especies sembradas habían comenzado su etapa vegetativa activa. Sin embargo, aunque ocasionó daños necróticos en las hojas nuevas, no comprometió la supervivencia de las plantas. La temperatura más baja del período experimental ($-3\text{ }^{\circ}\text{C}$) se registró durante el mes de junio del año 2008 (Fig.2.1f).

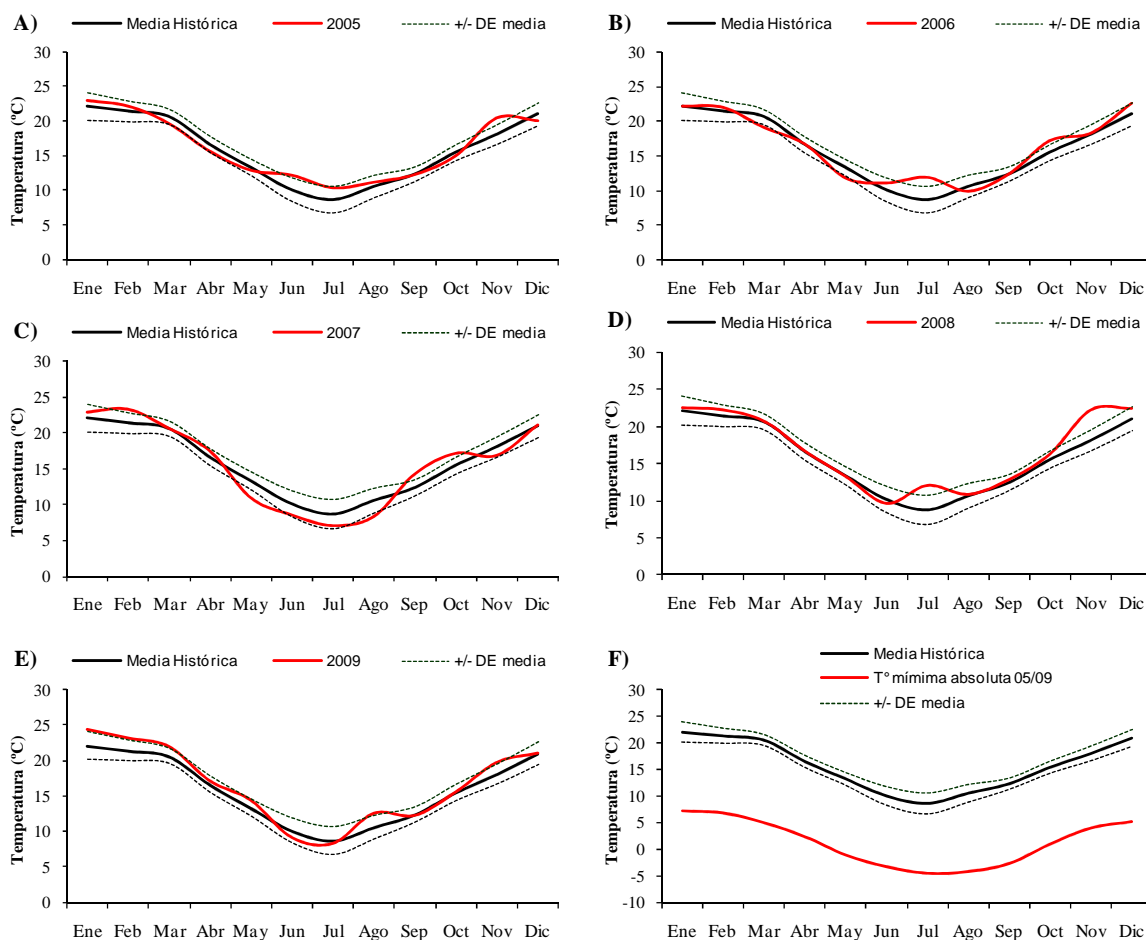


Fig. 2.1. Temperatura media mensual (°C) para la serie histórica 1957-2009 (líneas negras) y para los años a) 2005, b) 2006, c) 2007, d) 2008 y e) 2009. f) indica Temperaturas mínimas absolutas registradas durante el período experimental (líneas rojas).

Las precipitaciones registradas durante la implantación del ensayo (ciclo 04-05) y durante el último ciclo de crecimiento evaluado (08-09) fueron inferiores al rango abarcado por el promedio histórico y su desvío estándar (642 ± 204) (Fig. 2.2). Durante ambos ciclos los eventos de lluvia fueron muy irregulares, registrándose más de la mitad del total de precipitaciones entre enero y marzo. En el resto de los ciclos, las precipitaciones estuvieron dentro del rango abarcado por el promedio histórico y su desvío estándar y se distribuyeron en forma regular durante los seis meses de cada ciclo de crecimiento.

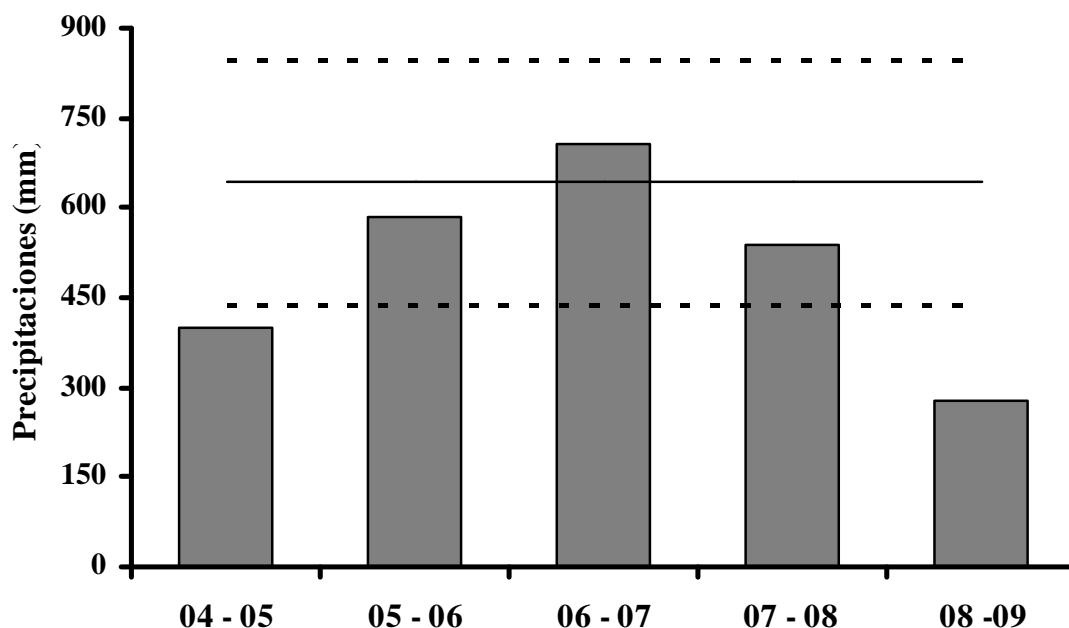


Figura 2.2. Precipitaciones acumuladas (mm) entre octubre y marzo para los cinco ciclos de crecimiento evaluados (barras grises) y para la serie histórica 1957-2009 (línea negra indica el valor medio, línea punteada indica el desvío estándar. n=52).

2.3.2 Variables estructurales

- Densidad de matas

La siembra se retrasó hasta mediados de diciembre, debido a que durante la primavera '04 las precipitaciones fueron muy escasas. El déficit hídrico se prolongó hasta febrero, mes en que se registró el único evento de precipitación de importancia (110 mm). La primera evaluación que se realizó (enero de 2005), mostró una muy baja densidad de matas en ambas especies (2 matas m^{-2} en Chloris y 1 mata m^{-2} en Panicum; Tabla 2.1). La densidad de matas de Chloris se mantuvo baja a lo largo de todo el período de evaluación, mientras que la de Panicum se incrementó progresivamente hasta el ciclo 06-07 (interacción recurso forrajero*ciclo de crecimiento). Debido a esto, el número de matas de Panicum fue significativamente superior al de Chloris a partir del ciclo 06-07 (Tabla 2.1).

Tabla 2.1: ANVA con medidas repetidas indicando media \pm error estándar de densidad de matas (matas m^{-2}), de *C. gayana* y *P. coloratum* durante el período experimental.

Recurso forrajero	Ciclo de crecimiento				
	04 - 05	05 - 06	06 - 07	07 - 08	08 - 09
Chloris	2,08 \pm 0,17 bc	2,23 \pm 0,22 b	2,27 \pm 0,18 b	2,32 \pm 0,17 b	2,33 \pm 0,29 b
Panicum	0,99 \pm 0,10 c	3,13 \pm 0,39 ab	3,53 \pm 0,23 a	3,94 \pm 0,19 a	4,20 \pm 0,20 a
Fuente de variación		G. de libertad		F	P
Recurso forrajero (n=20)		1		49,57	0,0004
Ciclo de crecimiento (n=8)		4		71,38	<0,0001
Recurso forrajero x ciclo de crecimiento (n=4)		3		14,62	<0,0001

Letras distintas indican diferencias significativas entre medias para Tukey ($p < 0,05$).

- *Cobertura vegetal*

Durante el ciclo 07-08 se evaluó la cobertura vegetal alcanzada por los tres recursos forrajeros. La cobertura del suelo lograda por la especie dominante (ED = *C. gayana* en Chloris, *P. coloratum* en Panicum y *D. spicata* en Estepa) varió en función del recurso forrajero y la época de crecimiento. En el período de crecimiento activo (enero), fue significativamente superior en las parcelas de Chloris y Panicum, cuyos valores casi triplicaron al valor alcanzado por la Estepa Clausura, mientras que durante el fin del período de crecimiento (mayo) y el fin del reposo (septiembre) fue inferior y similar entre recursos (Tabla 2.2a)

El porcentaje de suelo cubierto por la especie secundaria (ES) sólo varió entre épocas del año y fue estadísticamente superior durante el fin de reposo, respecto de las épocas de crecimiento activo y fin de crecimiento, que no se diferenciaron entre sí. La ES fue diferente entre recursos forrajeros, siendo *Distichlis spicata* en las parcelas de Chloris y Panicum y *Sporobolus indicus* en las parcelas de la Estepa Clausura, durante la época de crecimiento activo, y *Lolium multiflorum* en los tres recursos en las épocas restantes. Si bien no hubo diferencias estadísticamente significativas entre recursos respecto de la cobertura lograda por esta especie, se observó su aparición anticipada en las parcelas sembradas, llegando en el mes de septiembre a representar del 25 al 30 % de la cobertura viva.

La cobertura de Material Muerto (MM) varió en función de la época del año y el recurso forrajero de manera diferente (interacción recurso*época). Las especies sembradas (principalmente Panicum) registraron valores de MM superiores durante el fin de crecimiento y fin de reposo, que junto a su cobertura viva (ED y ES) cubrieron casi la totalidad del suelo. La estepa, en cambio, registró valores de MM más bajos, y similares entre sí en las tres épocas evaluadas.

La proporción de suelo desnudo (SD) fue afectada por el recurso forrajero y la época de crecimiento. Los valores registrados en las especies sembradas fueron siempre inferiores a los de la estepa. La proporción de SD fue estadísticamente inferior durante el crecimiento activo, y similar en el resto de las épocas evaluadas (Tabla 2.2b).

Tabla 2.2 a: Media \pm error estándar del porcentaje de Cobertura (%) de Especie Dominante (ED), Especie Secundaria (ES), Material Muerto (MM) y Suelo Desnudo (SD), de los recursos forrajeros en las distintas épocas del año. Enero (Crecimiento activo), mayo (Fin de crecimiento) y septiembre (Fin de reposo).

Recurso forrajero	Especie dominante (1)			Especie secundaria (2)			Material Muerto			Suelo desnudo			
	enero	mayo	sept	enero (B)	mayo (B)	sept (A)	enero	mayo	sept	enero (B)	mayo (A)	sept (A)	
Chloris	45,6 \pm 2 a	10,6 \pm 1 b	10,3 \pm 1 b	0,94 \pm 0,3	3,13 \pm 0,6	5,63 \pm 2,4	48,4 \pm 3 bc	64,9 \pm 5 ab	52,2 \pm 3 abc	B	5,00 \pm 0,5	21,4 \pm 5,4	31,9 \pm 1,5
Panicum	47,5 \pm 3 a	9,38 \pm 1 b	10,6 \pm 1 b	0,94 \pm 0,3	1,88 \pm 0,3	4,06 \pm 1,4	39,7 \pm 2 cd	69,3 \pm 6 a	54,4 \pm 1 abc	B	11,9 \pm 2,1	19,4 \pm 7,1	30,9 \pm 3,2
Estepa	16,6 \pm 1 b	13,1 \pm 1 b	10,9 \pm 1 b	1,56 \pm 0,6	0,31 \pm 0,3	3,75 \pm 1,1	22,2 \pm 5 d	20,8 \pm 2 d	20,6 \pm 3 d	A	59,7 \pm 5,2	65,7 \pm 3,5	64,7 \pm 2,9

(1): *C. gayana* en Chloris, *P. coloratum* en Panicum, *D. spicata* en Estepa.

(2): *D. spicata* en Chloris y Panicum, y *Sporobolus indicus* en Estepa en enero y *L. multiflorum* para los tres recursos en mayo y septiembre.

Letras minúsculas/mayúsculas/(mayúsculas) distintas indican diferencias significativas entre medias de la interacción/filas(columnas) para Bonferroni ($p < 0,05$).

Tabla 2.2 b: Resultados de ANVA con medidas repetidas de las variables transformadas para Especie Dominante (ED), Especie Secundaria (ES), Material Muerto (MM) y Suelo Desnudo (SD) de los distintos recursos forrajeros y épocas del año.

	Especie dominante			Especie secundaria			Material Muerto			Suelo desnudo		
	G.L.	F	P	G.L.	F	P	G.L.	F	P	G.L.	F	P
Recurso forrajero (n=12)	2	15,2	0,0045	2	0,78	0,4999	2	92,4	<0,0001	2	657,3	<0,0001
Ciclo de crec. (n=12)	2	129	<0,0001	2	10,5	0,0023	2	12,9	0,001	2	16,71	0,0003
Rec. forrajero x época del año (n=4)	4	22,4	< 0,0001	4	0,93	0,4773	4	4,55	0,0181	4	2,32	0,1165

2.3.3 Variables funcionales

- Producción Primaria Neta Aérea:

En el primer ciclo (04-05) no se acumuló forraje suficiente como para realizar una cosecha, debido a la lenta implantación registrada en ambas especies y a la lenta recuperación de la comunidad nativa post-laboreo. Por lo tanto, la primera evaluación de PPNA se realizó en marzo de 2006, cuando se cosechó el material producido durante el ciclo 05-06.

La PPNA estimada fue significativamente afectada por el recurso forrajero y el ciclo de crecimiento, aunque no se registró interacción entre ambos factores (Tabla 2.3). El valor promedio de los cuatro ciclos evaluados fue similar en *Chloris* (4865 Kg. MS ha⁻¹) y *Panicum* (5539 Kg. MS ha⁻¹) y significativamente superior a la PPNA de la Estepa Clausura (2548 Kg. MS ha⁻¹). Con respecto al ciclo de crecimiento, la PPNA fue significativamente superior durante el ciclo 06-07. En el resto de los ciclos (05-06, 07-08 y 08-09) la PPNA no difirió significativamente (Tabla 2.3) a pesar de las escasas precipitaciones registradas el último ciclo (Fig. 2.1).

Tabla 2.3: ANVA con medidas repetidas indicando media \pm error estándar de Producción primaria neta aérea (Kg. MS ha⁻¹) de los recursos forrajeros en los distintos ciclos de crecimiento.

Recurso forrajero	Ciclo de crecimiento			
	05 – 06 (B)	06 – 07 (A)	07 – 08 (B)	08 – 09 (B)
<i>Chloris</i> a	4.916 \pm 422	5.817 \pm 454	4.339 \pm 515	4.386 \pm 142
<i>Panicum</i> a	4.400 \pm 461	7.262 \pm 573	5.931 \pm 302	4.659 \pm 557
Estepa Clausura b	2.532 \pm 385	3.250 \pm 309	2.308 \pm 148	2.099 \pm 327
Fuente de variación	Grados de libertad		F	P
Recurso forrajero (n=16)	2		59,4	<0,0001
Ciclo de crecimiento (n=12)	3		10,3	<0,0001
Recurso forrajero x ciclo de crecimiento (n=4)	6		1,92	0,1076

Letras minúsculas/mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias de las filas/columnas para Tukey ($p < 0,05$).

La PPNA se correlacionó positivamente con la cobertura vegetal ($p < 0,0001$; r : 0,927, n : 12). Los menores valores de PPNA y cobertura vegetal se registraron siempre en la Estepa Clausura, y los valores más altos en las especies sembradas. La PPNA no mostró una correlación significativa (p : 0,2675, r : 0,348, n : 12) con las precipitaciones registradas durante el ciclo de crecimiento de las especies.

- Frecuencia de corte:

La PPNA fue diferente de acuerdo al recurso forrajero, la frecuencia de corte y mostró interacción significativa entre ambos factores (Tabla 2.4). La PPNA de las parcelas sembradas fue superior cuando se realizó más de un corte por estación, mientras que en la Estepa Clausura, la PPNA fue similar con ambas frecuencias de corte (Tabla 2.4). *Panicum coloratum* comenzó a vegetar un mes antes que *Chloris gayana* y alcanzó la primera floración completa a principios de enero, aproximadamente 30 días antes. La segunda floración se produjo durante la tercera semana de marzo en ambas especies en forma casi simultánea. Luego de ésta, sólo *C. gayana* acumuló forraje

suficiente como para realizar un tercer corte a pesar de no haber florecido. La Estepa Clausura floreció sólo una vez en marzo, al final del período de crecimiento.

Tabla 2.4: ANVA con parcelas divididas indicando media \pm error estándar de la Producción primaria neta aérea (Kg. MS ha⁻¹) durante el ciclo 07-08 de los recursos forrajeros manejados con distinta frecuencia de corte.

Recurso forrajero	Frecuencia de corte		
	Final de la estación	En cada floración ⁽¹⁾	
Chloris	4339 \pm 515 b	8759 \pm 974 a	
Panicum	5931 \pm 302 b	8284 \pm 600 a	
Estepa Clausura	2308 \pm 148 c	2326 \pm 265 c	
Fuente de variación	Grados de libertad	F	P
Recurso forrajero (n=8)	2	79,22	< 0,0001
Frecuencia de corte (n=12)	1	44,36	< 0,0001
Recurso forrajero x Frecuencia de corte (n=4)	2	14	0,0007

⁽¹⁾ Sumatoria de cortes. Chloris fue cortado tres veces y Panicum y Estepa Clausura dos veces. Letras distintas indican diferencias significativas entre medias para Tukey ($p < 0,05$).

- *Calidad nutricional del forraje:*

Se encontraron diferencias en los parámetros de calidad nutricional (FDN, FDA y PB) de los recursos forrajeros evaluados. Además, la frecuencia de corte afectó de manera diferencial a cada una de estas variables.

El contenido de FDN fue significativamente mayor en la Estepa Clausura que en Chloris, mientras que Panicum no mostró diferencias significativas con ninguno de los dos recursos (Tabla 2.5 a). La mayor frecuencia de corte disminuyó significativamente el valor de FDN en los tres recursos forrajeros. No se observó interacción entre el recurso forrajero y la frecuencia de corte (Tabla 2.5 a).

El contenido de FDA de Panicum fue significativamente superior al de la Estepa Clausura cuando se manejaron con un solo corte al final de la estación. El incremento en la frecuencia de corte provocó una disminución significativa del contenido de FDA sólo en Panicum (interacción recurso forrajero * frecuencia de corte, Tabla 2.5b).

La Estepa Clausura registró mayor contenido de PB promedio (6,92 %) que Chloris (5,97 %) y Panicum (5,49 %) que no se diferenciaron entre si (Tabla 2.5c). La mayor frecuencia de cortes aumentó significativamente el valor de PB de los tres recursos forrajeros. (Tabla 2.5 c).

Tabla 2.5 a. ANVA con parcelas divididas indicando media \pm error estándar de Fibra Detergente Neutro (%) de la planta entera de los recursos forrajeros manejados con distinta frecuencia de corte.

Recurso forrajero	F.D.N.		
	Final de estación (A)	En cada floración (B)	
Chloris b	77,6 \pm 0,6	75,1 \pm 1,5	
Panicum ab	79,9 \pm 0,4	77,1 \pm 0,5	
Estepa Clausura a	82,6 \pm 0,8	79,1 \pm 1	
Fuente de variación	Grados de Libertad	F	P
Recurso forrajero (n= 8)	2	6,94	0,0037
Frecuencia de corte (n=12)	1	9,17	0,0054
Recurso forrajero x Frecuencia de corte (n=4)	2	0,08	0,9222

Letras minúsculas/mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias de las filas/columnas para Tukey ($p < 0,05$).

Tabla 2.5 b. ANVA con parcelas divididas indicando media \pm error estándar de Fibra Detergente Acido (%) de la planta entera de los recursos forrajeros manejados con distinta frecuencia de corte

Recurso forrajero	F.D.A.		
	Final de estación	En cada floración	
Chloris	46,2 \pm 1,7 ab	45,2 \pm 0,7 abc	
Panicum	48 \pm 0,2 a	39,8 \pm 0,5 c	
Estepa Clausura	42 \pm 0,3 bc	44,5 \pm 1,4 abc	
Fuente de variación	Grados de Libertad	F	P
Recurso forrajero (n= 8)	2	2,44	0,1057
Frecuencia de corte (n=12)	1	5,73	0,0239
Recurso forrajero x Frecuencia de corte (n=4)	2	10,97	0,0003

Letras distintas indican diferencias significativas entre medias para Tukey ($p < 0,05$).

Tabla 2.5 c. ANVA con parcelas divididas indicando media \pm error estándar de Proteína Bruta (%) de la planta entera de los recursos forrajeros manejados con distinta frecuencia de corte

Recurso forrajero	P.B.		
	Final de estación (B)	En cada floración (A)	
Chloris b	5,83 \pm 0,1	6,11 \pm 0,1	
Panicum b	4,84 \pm 0,2	6,13 \pm 0,3	
Estepa Clausura a	6,42 \pm 0,3	7,43 \pm 0,3	
Fuente de variación	Grados de Libertad	F	P
Recurso forrajero (n= 8)	2	9,41	0,0008
Frecuencia de corte (n=12)	1	9,8	0,0042
Recurso forrajero x Frecuencia de corte (n=4)	2	1,21	0,3126

Letras minúsculas/mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias de las filas/columnas para Tukey ($p < 0,05$).

2.4 DISCUSIÓN

La introducción de las especies megatérmicas provocó cambios significativos en las variables estructurales de la estepa de halófitas. Si bien la implantación de las especies fue lenta, ambas toleraron las condiciones edafoclimáticas sin inconvenientes, llegando a duplicar la Cobertura vegetal del suelo al tercer año de implantadas. Consecuentemente con los cambios estructurales hubo modificaciones en las variables funcionales del pastizal sembrado, que a partir del segundo año duplicó su PPNA. En los párrafos siguientes se discuten las cuestiones que permitirían explicar los resultados mencionados anteriormente.

2.4.1 Variables estructurales

- Densidad de matas y cobertura vegetal

Los valores de densidad de matas hallados durante la implantación del ensayo fueron levemente inferiores a los informados en diversos ambientes del centro y norte del país (Radrizzani *et al.*, 2005; Conterno *et al.*, 2006; Monti *et al.*, 2009). La eficiencia de implantación de *Chloris gayana* y *Panicum coloratum* fue baja, lo cual estuvo asociado con varios factores: i) bajos porcentajes de semilla viable, ya que la densidad de siembra no fue ajustada por viabilidad y/o poder germinativo, por no tener

al momento de la siembra estos datos, ii) el grado importante de dormición (Voigt *et al.*, 1987; Petruzzi *et al.*, 2003) y iii) el pequeño tamaño de sus semillas. Además sus raíces adventicias se desarrollan muy cerca de la superficie del suelo, lo que incrementa el riesgo de muerte de plántulas por déficit hídrico (Hyder *et al.* 1971; Tischler y Ocumpaugh, 2004). Estas características, sumadas al importante estrés hídrico registrado posteriormente a la siembra pueden explicar, al menos en parte, las diferencias encontradas con los resultados de otros autores.

No existen antecedentes en la literatura sobre la época de siembra de especies megatérmicas más adecuada para esta región, aunque se podría especular que sería conveniente realizar una siembra más temprana (octubre–noviembre) que la efectuada en el presente trabajo, con el fin de evitar que la semilla germine durante el período de mayor déficit hídrico (enero-febrero). Las siembras anticipadas al mes de octubre o posteriores a marzo, serían inadecuadas ya que quedarían fuera del rango óptimo de temperaturas para la germinación (15 °C a 40 °C, según Moore *et al.*, 2006). Las temperaturas subóptimas retrasarían la germinación, incrementando el riesgo de pérdidas de semillas por predación-patógenos, y de plántulas por heladas.

Ambas especies lograron una cobertura del suelo similar al tercer año de la implantación, sin embargo, su estrategia para cubrir el suelo fue diferente. *Panicum*, que durante el primer ciclo de crecimiento registró una densidad de matas muy baja, a partir del segundo ciclo la aumentó a través de la germinación de semillas y el establecimiento de nuevas plántulas, coincidentemente con lo hallado por Petruzzi *et al.* (2003), quienes documentaron que la especie demora dos años o más en desarrollar un adecuado stand de plantas. *Chloris*, en cambio, mantuvo baja y constante la densidad de matas durante todo el período experimental. Si bien esta especie produjo anualmente una importante cantidad de semilla, no se observó germinación. Este comportamiento podría explicarse por el régimen térmico del sitio experimental, ya que temperaturas nocturnas inferiores a 15 °C durante el cuajado limitan la viabilidad de estas semillas (Tarumoto y Mochizuki, 1979). Esta especie fue cubriendo el suelo mediante el incremento del tamaño de las matas y la generación de estolones, en particular los producidos al comienzo de cada ciclo de crecimiento (noviembre-diciembre), ya que los producidos durante el verano (enero-febrero) no lograban un adecuado enraizamiento limitados por la escasa humedad y dureza del suelo (Capítulo 3) y morían al llegar el invierno. La estrategia de cobertura diferencial registrada entre ambas especies determinaría distintos manejos durante el proceso de implantación. En *P. coloratum* sería importante permitir su semillazón durante el primer año, mientras que en *C. gayana* deberían planificarse estrategias que favorezcan la producción y enraizamiento de sus estolones.

La cobertura del suelo alcanzada por las especies sembradas, que fue similar a la informada sobre suelos halomórficos del centro y norte del país (Conterno *et al.*, 2006; Nazca, 2006), duplicó la cobertura alcanzada por la estepa de halófitas, que coincidió con otros valores observados para esta comunidad vegetal en la Pampa Inundable (Alconada *et al.*, 1993; Taboada *et al.*, 1998; Ansín *et al.*, 2004; Vecchio *et al.*, 2008). La cobertura vegetal actúa como amortiguador del agua de lluvia, reduce la velocidad de escurrimiento mejorando la infiltración, y con ello la disponibilidad de agua para los cultivos (Phillips, 1984; Mielke *et al.*, 1986), mantiene durante más tiempo mayor cantidad de poros llenos de agua y con ello mejora su eficiencia de uso (Linn y Doran, 1984). El flujo de vapor a través de la cobertura de residuos es generalmente más lento, amortiguando el régimen hídrico y térmico del suelo (Phillips, 1984). En este sentido, Lavado y Taboada (1987) han demostrado que, al disminuir la temperatura del suelo, la cobertura disminuye la tasa de evaporación de agua y, con ello, el riesgo de salinización en suelos halomórficos. Estas cuestiones, que serán tratadas (en parte) en el Capítulo 3

de esta tesis, pueden haber sido la causa de la aparición anticipada de *Lolium multiflorum* en las parcelas de *Chloris* y *Panicum*.

2.4.2 Variables funcionales

- *Productividad Primaria Neta Aérea:*

La PPNA promedio estimada para los cuatro ciclos de crecimiento evaluados fue 4865 Kg. MS ha⁻¹ en *Chloris* y 5539 Kg. MS ha⁻¹ en *Panicum*. Estos valores se encuentran dentro del rango de PPNA (3350 a 9000 Kg. MS ha⁻¹) informado para las mismas especies en suelos halomórficos del centro y norte del país (Ricci *et al.*, 2000; Castro *et al.*, 2001; Cornacchione *et al.*, 2007; Renolfi *et al.*, 2007 a; Monti *et al.*, 2009) (Ver Anexo II). En la Pampa Inundable, Huarte y García (2008) hallaron valores de PPNA similares sobre suelos Argiudoles logrados durante el primer año de implantación, mientras que otros autores (Hidalgo *et al.*, 1989; Alonso y Borrajo, 2003) encontraron resultados similares de PPNA de Agropiro (*Thinopyrum ponticum*), especie sembrada habitualmente en suelos halomórficos de esta región. La PPNA promedio de la comunidad nativa laboreada (2548 Kg. MS ha⁻¹) fue la mitad de la alcanzada por las especies evaluadas y coincidió con la mencionada en la bibliografía sobre estepas de halófitas sin laborear (Hidalgo y Cauhepé 1991; Ansín *et al.*, 2004; Vecchio *et al.*, 2008), lo que indicaría una recuperación de esta comunidad respecto de su PPNA recién un año después de su laboreo. Las especies presentes en la estepa de halófitas corresponden a plantas tolerantes al estrés (Grime, 1977) y, por lo tanto, presentan una baja tasa crecimiento y una lenta recuperación post defoliación. Las especies sembradas, si bien también toleraron la situación de estrés, generaron una abundante biomasa y respondieron a la defoliación tendiendo a maximizar su crecimiento, atributos correspondientes a las plantas competitivas (Grime, 1977). Una característica que puede explicar este comportamiento es el sistema de raíces en cabellera de las especies sembradas, que les permite aumentar la superficie de captación de agua y con ello disminuir el estrés hídrico, una de las mayores limitaciones en suelos halomórficos (Sánchez *et al.*, 1976). La abundante biomasa producida por estas especies propició además una mejora incipiente de la condición edáfica (Capítulo 3).

La PPNA no mostró una correlación significativa con las precipitaciones (p: 0,2675, r: 0,348, n=12), habiendo sido así inconsistente con el modelo temporal postulado por Sala *et al.* (1988), posiblemente debido al estrecho rango de PPNA y precipitaciones explorado en el presente trabajo. Además la alta tolerancia a la sequía de todos los recursos forrajeros evaluados posiblemente les permitió mantener su PPNA durante el ciclo seco, mientras que durante los ciclos más húmedos otros factores, tanto externos (disponibilidad de luz y/o nutrientes) como internos (acumulación de biomasa senescente, muerte de macollos por pasaje al estado reproductivo, alta superficie transpiratoria) pueden haber sido los limitantes. La mayor PPNA registrada al incrementar la frecuencia de corte durante el ciclo 06-07 respaldaría en parte esta afirmación.

Con respecto a la distribución estacional de la PPNA, *P. coloratum* rebrotó cada año a comienzos de octubre y *C. gayana* a principios de noviembre, debido a la menor temperatura base para el crecimiento de la primera (10 °C) (Ferri *et al.*, 2006) con respecto a *C. gayana* (12 °C) (Agnusdei *et al.*, 2009). Ambas especies concentraron su producción en los meses de mayores temperaturas, ya que sus óptimos de crecimiento se ubican entre los 30 y 35 °C, y detuvieron su crecimiento en el mes de abril, cuando

las primeras heladas afectaron su parte aérea. Por ello serían una herramienta útil para cubrir el bache forrajero estival en la Pampa Inundable. Durante los meses de menores temperaturas no se observó mortandad de matas completas, ya que las temperaturas medias del mes más frío (Fig. 2.1) superaron a las reportadas para la supervivencia de ambas especies (5,2 a 8 °C para *C. gayana*, Ivory y Whiteman, 1978; Moore *et al.* 2006; y 5,8 -11,8 °C, para *P. coloratum*, Russell y Webb, 1976); y la mínima absoluta del período experimental (-3 °C) estuvo por encima del límite reportado para la supervivencia de raíces (-9 °C en *C. gayana*, Jones, 1969; y - 18 °C en *P. coloratum*, Petruzzi *et al.* 2003).

- *Frecuencia de corte:*

Las especies sembradas alcanzaron floración completa dos veces durante el ciclo de crecimiento evaluado. La primera floración de *P. coloratum* se produjo a fin de diciembre mientras que la de *C. gayana* a fin de enero. La segunda floración, en cambio, se registró simultáneamente en ambas especies (fin de marzo). Como estas especies no manifiestan respuestas fotoperiódicas entre 9 y 15 horas de luz (Nada, 1980), podría especularse que la floración anticipada de *P. coloratum* obedece a su temperatura base de crecimiento más baja.

La realización de cortes en cada floración (*C. gayana* además fue cortada una tercera vez debido a que acumuló suficiente biomasa después de la segunda floración) incrementó entre un 40 y un 100 % la PPNA de las especies sembradas poniendo en evidencia mecanismos de crecimiento compensatorio (McNaughton, 1979). Estos mecanismos se expresan cuando las plantas se defolian ligeramente o con poca frecuencia, y les permite recuperarse manteniendo o incrementando su PPNA total (McNaughton, 1983). El corte y remoción de la parte aérea de las plantas modifica luz que llega a los tejidos potencialmente más activos, reduciendo la tasa de senescencia de hojas e incrementando el macollaje (Deregibus *et al.*, 1985). Luego de la defoliación se han observado aumentos en el potencial agua de las hojas (Toft *et al.*, 1987), en la absorción de nutrientes (McNaughton y Chapin, 1985), en la conductancia estomática y en la tasa fotosintética (Wallace *et al.*, 1984). Las plantas defoliadas muestran aumentos en la asignación de recursos hacia la parte aérea, reponiendo los tejidos fotosintéticos con rapidez (Caldwell *et al.*, 1981). En consecuencia, bajo ciertas condiciones, la defoliación puede aumentar la tasa de crecimiento relativa del material remanente y eventualmente la productividad (Oosterheld y McNaughton, 1988 y 1991).

Las diferencias en la respuesta a la defoliación registradas entre las especies implantadas y la comunidad nativa, que no incrementó su PPNA con los cortes, podrían estar asociadas a la historia evolutiva de cada una de las especies. *C. gayana* y *P. coloratum* tienen su centro de origen en África, donde han co-evolucionado con grandes herbívoros y por lo tanto desarrollado diversas estrategias de adaptación al pastoreo (McNaughton, 1984; Dyer *et al.*, 1991). En cambio, los pastizales de la Pampa Inundable, han estado sujetos a una presión de pastoreo muy leve hasta la introducción del ganado doméstico en el siglo XVI (Soriano, 1991). Si bien desde entonces existen grandes herbívoros que pastorean en confinamiento ejerciendo una alta presión sobre el pastizal (Oosterheld *et al.* 1992), su historia coevolutiva es corta comparada con los pastizales africanos (Milchunas *et al.*, 1993).

La respuesta a la frecuencia de corte registrada en el presente estudio fue diferente a la obtenida en la mayoría de los trabajos realizados con especies megatérmicas en nuestro país, donde altas frecuencias de corte repercuten negativamente en la PPNA al

impedir que las especies acumulen suficientes reservas para un rápido rebrote (De León *et al.*, 1995; Ricci *et al.*, 1997; Ferrando *et al.*, 2005; y Cornacchione *et al.*, 2007). Estos autores utilizan fechas de corte fijas y períodos de descanso entre 4 y 8 semanas, buscando lograr el balance óptimo entre PPNA y calidad nutricional. En el presente estudio, en cambio, los cortes se realizaron cuando las plantas alcanzaron plena floración, determinando un descanso máximo sensiblemente superior (12 semanas). La realización de cortes en cada floración determinó una baja frecuencia de corte que puede haber permitido a las plantas expresar sus máximas tasas de crecimiento y lograr la compensación observada, mientras que las frecuencias mayores utilizadas en los trabajos antes mencionados pueden haber superado el nivel óptimo de defoliación y afectado la PPNA total, tal como predice la hipótesis de optimización del pastoreo (Dyer, 1975; McNaughton, 1979).

- ***Calidad nutricional del forraje:***

Los elevados valores fibras (FDN y FDA) hallados en tres recursos forrajeros evaluados indicarían que su calidad nutricional es intermedia a baja de acuerdo a la clasificación propuesta por Rohweder (1978). Sus principales limitaciones estarían ligadas a una baja capacidad de consumo por llenando ruminal, ya que la FDN se correlaciona inversamente con el consumo voluntario y, en menor medida, a su baja digestibilidad correlacionada inversamente la FDA (Rohweder *et al.*, 1978). Los valores hallados en las especies sembradas coinciden con los reportados por diversos autores para evaluaciones realizadas en estado reproductivo avanzado (Stritzler *et al.*, 1996; Ricci y Toranzos, 2004; Monti *et al.*, 2009). Para *Distichlis spicata*, especie predominante en la estepa de halófitas, Montani *et al.* (2002) encontraron valores de FDN y FDA inferiores a los registrados en el presente estudio, mientras que Escobar-Hernández *et al.* (2005) informaron valores inferiores de FDN y superiores de FDA.

La proteína bruta (PB) también fue baja en los tres recursos forrajeros, aunque en la comunidad nativa se determinaron los valores más elevados. La PB de la estepa de halófitas permitiría cubrir el requerimiento proteico de una vaca de cría seca preñada de 400 Kg. de peso vivo (5,9 % PB -NRC, 1973) independientemente de la frecuencia de corte utilizada. Las especies sembradas, en cambio, sólo alcanzaron este nivel de PB cuando fueron cortadas en cada floración, mientras que cuando la evaluación se realizó sobre el forraje acumulado total, los valores de PB hallados serían limitantes para generar la proteína bacteriana necesaria para una adecuada digestión del forraje. Los valores de PB hallados bajo la mayor frecuencia de corte en las especies sembradas coinciden con los reportados por Ribotta *et al.* (2005) en evaluaciones realizadas en el centro-norte del país a fines del mes de marzo, mientras que los valores hallados bajo la menor frecuencia de corte son similares a los registrados en diferimientos invernales (Ricci y Guzmán, 1992; Stritzler *et al.*, 1996, Ribotta *et al.*, 2005). Podría especularse que las menores temperaturas del sitio experimental respecto de zonas de mayores latitudes hayan detenido el crecimiento anticipadamente, provocando una mayor acumulación de hoja seca y consecuentemente valores de PB más bajos.

Las evaluaciones de FDN, FDA y PB se realizaron cuando las especies sembradas se encontraban en estado reproductivo avanzado. En esta etapa fenológica las gramíneas megatérmicas se caracterizan por poseer una baja calidad nutricional (De León, 1992; De León *et al.*, 1995; Stritzler *et al.*, 1996; Ricci y Toranzos, 2004; Cornacchione *et al.*, 2007; Ferri y Jouve, 2008) ya que disminuyen su relación hoja-tallo, acumulando biomasa compuesta principalmente por estructuras fibrosas (tallos y hojas secas). A

pesar de ello, la realización de cortes en cada floración permitió mejorar la calidad nutricional en los tres recursos forrajeros evaluados, a través de una disminución en el contenido de FDN y un aumento en el contenido de PB. Estos resultados coinciden con los hallados por Ferri *et al.* (2006) y Cornacchione *et al.* (2007) quienes reportan que la mayor frecuencia de corte mejora la relación hoja/tallo, disminuye la proporción de estructuras fibrosas y, consecuentemente el contenido de FDN del rebrote de la planta entera. Además, como la hoja es la fracción de la planta con mayor contenido proteico y éste disminuye significativamente con la senescencia (Ribotta *et al.*, 2005; Ávila *et al.*, 2008), al mejorar la relación hoja/tallo y disminuir la proporción de hojas secas se incrementa el contenido de PB. Adicionalmente, la remoción de la parte aérea de las plantas puede haber acelerado el ciclado de nutrientes del suelo incrementando la absorción y contenido de N del material remanente (Chaneton *et al.*, 1996, McNaughton *et al.*, 1997).

2.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE MANEJO

Los resultados del presente estudio indican que es viable implantar *Chloris gayana* y *Panicum coloratum* en ambientes halomórficos de la Pampa Inundable, por lo cual no se rechaza la primer hipótesis planteada en este capítulo. Aunque ambas especies se implantaron lentamente, lograron una adecuada cobertura del suelo (el doble que la comunidad nativa) durante el tercer ciclo de crecimiento. Sin embargo una proporción significativa de la cobertura vegetal total consistió en Material muerto, cuya abundancia sería sensiblemente inferior bajo pastoreo.

Una vez implantadas, tanto *C. gayana* como *P. coloratum* duplicaron la PPNA de la estepa de halófilas. Sin embargo, su calidad nutricional no superó a la de la comunidad nativa, por lo que la segunda hipótesis se rechaza sólo en forma parcial.

La realización de cortes en cada floración afectó tanto la calidad como la PPNA del forraje en las especies sembradas. Por un lado, como se esperaba, generó una mejora en la calidad nutricional de forraje, mientras que por otro lado, contrariamente a lo esperado, generó un incremento en la PPNA que pondría en evidencia la existencia de mecanismos de crecimiento compensatorio en estas especies. Por ello se rechaza la tercera hipótesis planteada en este capítulo.

Una recomendación de manejo que surge de los resultados de este capítulo es que la utilización de estas especies debería incluir pastoreos durante el verano y otoño, ya que de esta manera tendríamos mayor volumen total de forraje digestible y su calidad sería adecuada para el mantenimiento de las vacas preñadas post-destete. Además, de esta forma se podría dar descansos a otras comunidades del pastizal natural acumulando así forraje para el invierno y el comienzo de la parición. Sin embargo se consideran necesarios nuevos estudios que incluyan un mayor número de frecuencias de corte para poder lograr un balance adecuado entre la máxima PPNA y la óptima calidad.

Por lo antes mencionado ambas especies aparecen como alternativas promisorias para mejorar la receptividad de suelos Natracualfes en el norte de la Pampa Inundable. Sin embargo es importante destacar que su lenta implantación puede constituirse en una limitante para la difusión de estas especies. Además, deberán realizarse estudios de mayor duración y distribución areal para definir el área potencial de siembra de ambas especies dentro de la región, así como para determinar su supervivencia a encharcamientos-inundaciones. La estrategia de cobertura del suelo de *Panicum coloratum* (abundante generación de semilla y nacimiento de nuevas plantas cada año),

junto a su mayor tolerancia al frío, indicaría que esta especie tendría menos limitantes para su difusión en la región. Por último, podría hipotetizarse que la mayor producción de biomasa lograda por estas especies ocasionará una mayor extracción de nutrientes del suelo, por lo que será necesario trabajar en alternativas como fertilización y consociaciones con leguminosas a fin de lograr un aprovechamiento sustentable del recurso suelo.

CAPITULO 3

EFFECTOS DE LA INTRODUCCIÓN DE ESPECIES MEGATÉRMICAS SOBRE CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS DE UN AMBIENTE HALOMÓRFICO DE LA PAMPA INUNDABLE

3.1 INTRODUCCIÓN

Los suelos Natracualfes cubren más de 1.000.000 de hectáreas de la Pampa Inundable (INTA, 1990). Se caracterizan por poseer severas limitaciones físicas y químicas. Presentan bajos niveles de materia orgánica, elevados valores de pH por exceso de sodio, baja estabilidad estructural y baja disponibilidad de agua útil y de nutrientes para las plantas (Alconada *et al.*, 1993). Además, como la comunidad vegetal asociada presenta escasa cobertura (Batista *et al.*, 2005), son muy susceptibles al ascenso de sales por capilaridad (Lavado *et al.*, 1992).

Entre las alternativas disponibles para mejorar la receptividad de estos suelos, se encuentra la técnica conocida como fitorremediación. La misma consiste en incorporar especies que posean un elevado potencial de producción de biomasa, acompañado por la capacidad de tolerar ambientes extremos (Ghaly, 2002; Kaur *et al.*, 2002; Qadir y Oster, 2002). La mayor producción de biomasa actúa sobre i) las propiedades físicas, promoviendo mejoras en la estructura del suelo, a través de la creación de macroporos y grietas estructurales que disminuyen la densidad aparente (Elkins *et al.*, 1977, Qadir *et al.*, 2007), y el aumento de la estabilidad de los agregados (Boyle *et al.*, 1989; Tisdall, 1991); y sobre ii) las propiedades químicas, al generar un aumento de la presión parcial de CO₂ por mayor respiración de las raíces que colabora en disolver la calcita (CaCO₃), promoviendo descensos del pH por reemplazo del sodio (Na⁺) adsorbido a los coloides del suelo por calcio (Ca²⁺) liberado de la calcita (Semple *et al.*, 2003; Qadir *et al.*, 2007). Además el mayor volumen de raíces suele incrementar la liberación de protones y exudados radicales (Qadir *et al.*, 2007), como también ácidos orgánicos (Yang *et al.*, 2010), mientras que algunas especies disminuyen el nivel de pH edáfico por absorción radical de Na⁺ (Robbins, 1986; Noble y Nelson, 2000).

Chloris gayana y *Panicum coloratum* son dos gramíneas megatérmicas perennes que han manifestado un alto potencial de producción de biomasa en suelos halomórficos del centro y norte de nuestro país (Ricci *et al.*, 2000; Castro *et al.*, 2001; Cornacchione *et al.*, 2007; Renolfi *et al.*, 2007 a y b; Monti *et al.*, 2009). Sin embargo, no hay información sobre el efecto que la implantación de estas especies megatérmicas causa sobre las características edáficas de ambientes halomórficos.

Se plantea como hipótesis de este capítulo que:

i) La alta producción de biomasa de *C. gayana* y *P. coloratum* en condiciones de halomorfismo mejora las propiedades físicas de los suelos estudiados, a través de un aumento de la estabilidad estructural y la tasa de infiltración y una disminución en su densidad aparente.

ii) La implantación de ambas especies propicia una disminución significativa de los parámetros indicadores de halomorfismo (pH, C.E. y R.A.S.).

iii) El mayor aporte de residuos vegetales debido a la alta producción de biomasa de ambas especies determina un incremento de la materia orgánica del suelo.

Para poner a prueba esta hipótesis se plantean los siguientes objetivos:

a) Evaluar el efecto de la implantación de *C. gayana* y *P. coloratum* sobre parámetros físicos edáficos tales como densidad aparente, estabilidad estructural, tasa de infiltración, traficabilidad de los primeros centímetros del suelo.

b) Evaluar el efecto de la implantación de *C. gayana* y *P. coloratum* sobre parámetros indicadores de halomorfismo edáfico tales como pH, conductividad eléctrica (CE) y relación de absorción de sodio (RAS).

c) Evaluar el efecto de la implantación de *C. gayana* y *P. coloratum* sobre el contenido de materia orgánica de los primeros centímetros de suelo.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales y métodos generales fueron descritos en el Capítulo 2 de la presente tesis. En particular, para los objetivos de este capítulo, se agregó un tratamiento adicional que consistió en evaluar el suelo de la comunidad nativa (estepa de halófitas) sin rastrear, bajo pastoreo continuo con $0,35 \text{ EV ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, utilizando una porción del terreno circundante a cada bloque. El objetivo de este tratamiento fue disponer de un control, que no haya sido laboreado mecánicamente (disqueado), y que represente una situación típica de manejo zonal bajo pastoreo. Este tratamiento se denominó Estepa Pastoreo.

Por lo tanto, los tratamientos establecidos fueron:

1. Suelo rastreado + siembra de *Chloris gayana*. (Chloris)
2. Suelo rastreado + siembra de *Panicum coloratum*. (Panicum)
3. Suelo rastreado (Estepa Clausura)
4. Estepa de halófitas en pastoreo continuo (Estepa Pastoreo)

3.2.1 Diseño experimental

Se estableció un diseño experimental en bloques completamente aleatorizados con cuatro repeticiones por tratamiento.

3.2.2 Mediciones y cálculos

Las evaluaciones de propiedades físicas y halomorfismo edáfico se realizaron durante el tercer ciclo productivo de las especies implantadas (07-08) en las cuatro estaciones del año: primavera de 2007, y verano, otoño e invierno de 2008. La materia orgánica se registró al final del cuarto ciclo productivo (marzo de 2009).

3.2.2.1 Propiedades físicas

- *Densidad aparente y Contenido hídrico*

Se recolectaron muestras compuestas por tres submuestras en cada parcela, entre los 0 y 8 cm. de profundidad, utilizando cilindros plásticos de 8 cm. de diámetro y 8 cm. de altura (Blake y Hartge, 1986). Luego, en laboratorio, se pesó el volumen total de suelo húmedo extraído en cada muestra y se secó en estufa a 105° C. Con los datos obtenidos se calculó la densidad aparente del suelo (DAP) y el contenido hídrico gravimétrico de acuerdo a las ecuaciones utilizadas en la Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo del USDA (Luters y Salazar, 1999).

$$\text{Densidad aparente (gr. cm.}^{-3}\text{)} = \text{peso suelo seco} / \text{volumen de suelo}$$

$$\text{Contenido hídrico (\%)} = (\text{peso suelo húmedo} - \text{peso suelo seco}) / \text{peso suelo seco} * 100$$

- *Inestabilidad estructural*

Se determinó por el método de DeBoodt y DeLeehner (DeBoodt *et al.*, 1961). El procedimiento de recolección de muestras no disturbadas fue con pala en los primeros 10 cm. del suelo. En laboratorio, se tamizaron los agregados en seco, utilizando una serie de tamices (4,8; 3,36 y 2 mm de apertura). Luego se tomaron 100 gramos de suelo con cantidades proporcionales de cada fracción y se las humedeció por goteo hasta capacidad de campo. Por último, se tamizó en húmedo a través de los mismos tamices, y se determinó la cantidad presente en cada uno. Cuanto menor es el cambio del diámetro medio ponderado (CDMP) entre tamizado en seco y en húmedo, mayor es la estabilidad estructural. Por ello, el CDMP se puede interpretar como un Índice de Inestabilidad. Se utilizó esta metodología por ser la más utilizada en la Argentina para predecir la susceptibilidad del suelo al encostramiento y/o a la erosión hídrica (Taboada y Álvarez, 2008).

- *Tasa de infiltración*

Se realizaron tres mediciones por parcela, utilizando infiltrómetros de anillo de 19 cm. de diámetro, similares a los propuestos en la Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo del USDA (Luters y Salazar, 1999). Para ello, el área de muestreo fue previamente limpiada cortando al ras la vegetación presente. Posteriormente los infiltrómetros se colocaron a 10 centímetros de profundidad y se afirmó el suelo alrededor de sus bordes internos para prevenir filtraciones adicionales. Se cubrió el infiltrómetro con una tela plástica y se agregó sobre ésta una lámina de agua. Luego se retiró suavemente la tela, se registró la altura del agua (altura inicial) y la altura al cabo

de una hora (altura final). Con estos datos se determinó la lámina infiltrada en una hora por diferencia de altura de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Tasa de infiltración (cm. hora}^{-1}\text{)} = (\text{altura inicial} - \text{altura final})/\text{hora}$$

Durante la evaluación realizada en el verano, como el suelo se encontraba con un contenido hídrico muy bajo (Tabla 7), se agregó una lámina de agua de una pulgada antes de la evaluación, para evitar errores de estimación debidas al efecto de la humedad antecedente. De esta forma, se aseguró que los valores de infiltración determinados correspondieran a infiltración básica (condiciones de saturación).

- **Traficabilidad**

Se evaluó a campo utilizando un penetrómetro estático Proctor (Davidson, 1965). Para ello se realizaron 10 mediciones por parcela tomadas al azar recorriendo transectas en zig-zag.

3.2.2.2 Parámetros indicadores de halomorfismo edáfico

Se recolectó una muestra compuesta por tres submuestras en cada parcela, a dos profundidades (superficial: 0-15 cm. y subsuperficial: 15-30 cm.), utilizando un barreno recto de 2,5 cm. de diámetro. Posteriormente, en laboratorio se analizaron los siguientes parámetros:

- pH, mediante el método de medición en pasta (Rhoades, 1982).
- Conductividad eléctrica de extractos de saturación (Rhoades, 1982).
- Relación de adsorción de sodio (RAS), calculada a partir de la concentración de Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} en extractos de saturación de suelo (Rhoades, 1982).

3.2.2.3 Materia orgánica

Al finalizar el período experimental se tomaron tres submuestras por parcela de los primeros 8 cm. de suelo, utilizando un barreno recto de 2,5 cm. de diámetro. Posteriormente se analizó en laboratorio su contenido de materia orgánica por el método de Walkley y Black (Walkley y Black, 1934).

3.2.3 Análisis estadístico y relaciones entre variables

El análisis de los parámetros indicadores de halomorfismo y propiedades físicas se realizó mediante ANVA con medidas repetidas en el tiempo, debido a que los datos fueron tomados en la misma parcela en distintos momentos del ensayo. Para los parámetros indicadores de halomorfismo se analizó el efecto de los tratamientos en cada una de las profundidades registradas de manera independiente. Para el cálculo de las diferencias mínimas entre medias de tratamientos se utilizó el test de Tukey. Para determinar las relaciones entre las variables edáficas, la cobertura vegetal y el contenido

de materia orgánica se analizaron los coeficientes de correlación de Pearson (r) y luego se utilizó el método analítico de coeficientes de sendero (path analysis) para evaluar las correlaciones encontradas. Esta herramienta estadística permite descomponer la correlaciones en un efecto “directo” de X sobre Y, y en efectos “indirectos” de X sobre Y, los que se hacen efectivos por vía de la relación de X con otros componentes de Y (Z, W, etc.). El Análisis de Senderos se realizó incluyendo en cada modelo sólo las variables relevantes entre las que se pueden postular relaciones causales.

Para determinar los posibles efectos del contenido hídrico edáfico sobre la traficabilidad y densidad aparente se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson (r) entre estas variables, utilizando modelos exponenciales negativos para contenido hídrico-trafficabilidad, y polinómicos para contenido hídrico-densidad aparente. En la correlación contenido hídrico-trafficabilidad se utilizó una transformación logarítmica para la obtención de relaciones lineares que permitieran la realización de un test de pendientes y ordenadas para evaluar la existencia de diferencias entre los modelos ajustados. Todos los análisis se hicieron utilizando el paquete estadístico InfoStat (InfoStat, 2007).

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Propiedades físicas

- Densidad aparente

La densidad aparente del suelo fue significativamente afectada por el recurso forrajero y la estación del año, sin que hubiese interacción entre ambos factores (Tabla 3.1). La densidad aparente del suelo de la comunidad nativa (tanto pastoreada como en clausura) fue superior a la del suelo de ambas especies sembradas, que no se diferenciaron entre si (Tabla 6). Con respecto a los cambios asociados con la estación, los valores más bajos de densidad se registraron en otoño y los más altos durante la primavera e invierno, mientras que durante el verano los valores fueron intermedios (Tabla 3.1). Los valores de densidad aparente no fueron corregidos por humedad, presentándose tal cual fueron registrados a campo, ya que esta variable no registró correlación significativa con el contenido hídrico edáfico ($r: -0,142$, $p=0,262$, $n=64$).

Tabla 3.1: ANVA con medidas repetidas indicando media \pm error estándar de Densidad Aparente edáfica (gr. cm.⁻³) de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.

Recurso forrajero	Estación del año			
	Primavera (A)	Verano (AB)	Otoño (B)	Invierno (A)
Chloris b	1,25 \pm 0,04	1,17 \pm 0,08	1,17 \pm 0,02	1,31 \pm 0,03
Panicum b	1,31 \pm 0,03	1,21 \pm 0,06	1,18 \pm 0,06	1,27 \pm 0,03
Estepa Clausura a	1,32 \pm 0,03	1,33 \pm 0,06	1,26 \pm 0,03	1,35 \pm 0,03
Estepa Pastoreo a	1,33 \pm 0,03	1,30 \pm 0,05	1,30 \pm 0,03	1,31 \pm 0,04
Fuente de variación	Grados de libertad			F
Recurso forrajero (n=16)	3			7,02
Estación del año (n=16)	3			5,04
Recurso forrajero x estación del año (n=4)	9			0,92
				P
				0,0006
				0,0043
				0,5158

Letras minúsculas/mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias de las filas/columnas para Tukey ($p < 0,05$).

- *Contenido hídrico*

El recurso forrajero no modificó el contenido hídrico edáfico, que sólo fue afectado significativamente por la estación del año (Tabla 3.2). Los valores más altos se registraron durante la primavera y el otoño, y los más bajos durante el verano, mientras que en el invierno los valores fueron intermedios (Tabla 3.2).

Tabla 3.2: ANVA con medidas repetidas indicando media \pm error estándar de Contenido hídrico edáfico (%), de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.

Recurso forrajero	Estación del año			
	Primavera (A)	Verano (C)	Otoño (A)	Invierno (B)
Chloris	32,3 \pm 1,9	13,4 \pm 3,3	24,6 \pm 1,1	23,8 \pm 0,7
Panicum	26,1 \pm 1,7	11 \pm 0,6	27,2 \pm 1,6	24,1 \pm 0,4
Estepa Clausura	27,4 \pm 2,1	14,2 \pm 1,8	28 \pm 0,6	22,6 \pm 0,4
Estepa Pastoreo	25,7 \pm 1,1	14,7 \pm 0,7	27,1 \pm 1,1	22,9 \pm 2,4
Fuente de variación		Grados de libertad	F	P
Recurso forrajero (n=16)		3	1,26	0,3455
Estación del año (n=16)		3	80,38	<0,0001
Recurso forrajero x estación del año (n=4)		9	2,05	0,0617

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias en las columnas para Tukey ($p < 0,05$).

- *Inestabilidad estructural*

La inestabilidad estructural, expresada por el cambio en el diámetro medio ponderado de los agregados del suelo (CDMP), fue significativamente afectada por el recurso forrajero y por la estación del año, sin que hubiese interacción entre ambos factores (Tabla 3.3). El suelo de la Estepa Clausura registró valores de CMDP significativamente mayores al resto de los recursos forrajeros, que no se diferenciaron entre sí (Tabla 3.3). Con respecto a los cambios asociados con la estación, el valor de CDMP más bajo se registró durante el invierno y los más altos durante el verano y otoño, mientras que en la primavera los valores fueron intermedios (Tabla 3.3).

Tabla 3.3: ANVA con medidas repetidas indicando media \pm error estándar de Cambio en el Diámetro Medio Ponderado de los agregados de suelo (CDMP), de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.

Recurso forrajero		Estación del año			
		Primavera (AB)	Verano (A)	Otoño (A)	Invierno (B)
Chloris	b	0,28 \pm 0,08	0,46 \pm 0,07	0,35 \pm 0,02	0,25 \pm 0,04
Panicum	b	0,42 \pm 0,18	0,36 \pm 0,14	0,31 \pm 0,01	0,24 \pm 0,03
Estepa Clausura	a	0,93 \pm 0,12	0,69 \pm 0,10	0,71 \pm 0,16	0,48 \pm 0,07
Estepa Pastoreo	b	0,6 \pm 0,03	0,27 \pm 0,09	0,53 \pm 0,07	0,39 \pm 0,06
Fuente de variación			Grados de libertad	F	P
Recurso forrajero (n=16)			3	15,66	0,0006
Estación del año (n=16)			3	3,63	0,0218
Recurso forrajero x estación del año (n=4)			9	1,81	0,1002

Letras minúsculas/mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias de las filas/columnas para Tukey ($p < 0,05$).

- *Tasa de infiltración*

La tasa de infiltración fue significativamente afectada por el recurso forrajero y por la estación del año, sin interacción entre ambos factores (Tabla 3.4). Los valores más altos se registraron en los suelos de las especies sembradas y los más bajos en los suelos de la comunidad nativa (tanto en clausura como bajo pastoreo). La tasa de infiltración de los suelos sembrados con Chloris fue superior a la estepa (tanto en clausura como bajo pastoreo), mientras que la tasa de infiltración de Panicum sólo fue significativamente superior a la de la estepa bajo pastoreo (Tabla 3.4). Con respecto a los cambios asociados con la estación del año, los mayores valores se registraron durante el verano y el otoño y los menores valores durante la primavera y el invierno. (Tabla 3.4).

Tabla 3.4: ANVA con medidas repetidas indicando media \pm error estándar de Tasa de infiltración edáfica (cm. h⁻¹), de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.

Recurso forrajero		Estación del año			
		Primavera (B)	Verano (A)	Otoño (A)	Invierno (B)
Chloris	a	2,17 \pm 0,63	4,21 \pm 1,01	4,72 \pm 0,25	1,69 \pm 0,42
Panicum	ab	1,93 \pm 0,49	2,71 \pm 0,08	3,65 \pm 0,7	1,95 \pm 0,59
Estepa Clausura	bc	1,68 \pm 0,46	2,21 \pm 0,46	2,51 \pm 0,48	1,62 \pm 0,8
Estepa Pastoreo	c	1,37 \pm 0,44	1,78 \pm 0,32	1,86 \pm 0,19	0,91 \pm 0,23
Fuente de variación		Grados de libertad		F	P
Recurso forrajero (n=16)		3		8,44	0,0056
Estación del año (n=16)		3		9,31	0,0001
Recurso forrajero x estación del año (n=4)		9		1,1	0,386

Letras minúsculas/mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias de las filas/columnas para Tukey ($p < 0,05$).

- *Traficabilidad*

La traficabilidad del suelo difirió de acuerdo al recurso forrajero y la estación del año. Además, se encontraron efectos de interacción significativa entre ambos factores (Tabla 3.5). Durante la primavera los valores de traficabilidad del suelo fueron bajos y similares entre tratamientos. En el verano la traficabilidad se incrementó significativamente en los cuatro recursos, coincidiendo con los valores más bajos de contenido hídrico edáfico (Tabla 3.2). En esta estación, el suelo de la comunidad nativa (en ambas situaciones de pastoreo) registró los valores más altos de traficabilidad, diferenciándose estadísticamente la Estepa Pastoreo de las dos especies sembradas, y la Estepa Clausura sólo de Chloris. Durante otoño e invierno la traficabilidad del suelo disminuyó significativamente hasta valores similares a los registrados durante la primavera, sin diferencias entre recursos forrajeros (Tabla 13.5).

Tabla 3.5: ANVA con medidas repetidas indicando media \pm error estándar de Traficabilidad edáfica (MPa), de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.

Recurso forrajero	Estación del año			
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Chloris	0,37 \pm 0,1 d	4,63 \pm 0,36 c	0,69 \pm 0,11 d	0,66 \pm 0,19 d
Panicum	0,72 \pm 0,09 d	6,08 \pm 0,23 bc	0,75 \pm 0,06 d	0,97 \pm 0,22 d
Estepa Clausura	1,04 \pm 0,11 d	7,48 \pm 0,65 ab	0,65 \pm 0,05 d	1,32 \pm 0,3 d
Estepa Pastoreo	0,94 \pm 0,1 d	8,88 \pm 0,8 a	0,7 \pm 0,06 d	1,78 \pm 0,51 d
Fuente de variación		Grados de libertad	F	P
Recurso forrajero (n=16)		3	17,75	0,0004
Estación del año (n=16)		3	375,89	<0,0001
Recurso forrajero x estación del año (n=4)		9	7,25	<0,0001

Letras distintas indican diferencias significativas entre medias de las filas para Tukey ($p < 0,05$). n=4.

3.3.2 Parámetros indicadores de halomorfismo edáfico

Superficial (0 – 15 cm.)

- pH

El pH superficial, que resultó fuertemente alcalino, fue significativamente afectado por el recurso forrajero y por la estación del año, sin interacción entre ambos factores (Tabla 3.6). El suelo de la comunidad nativa (estepa de halófitas) tanto en pastoreo como en clausura, mostró un pH más elevado que el suelo donde se sembró *C. gayana* o *P. coloratum* (Tabla 3.6). Con respecto a los cambios asociados a la estación, se observó un incremento progresivo del pH desde la primavera hasta el otoño y luego un descenso en invierno, cuando el pH fue inferior al de otoño y superior al de primavera y verano (Tabla 3.6).

Tabla 3.6: ANVA medidas repetidas indicando media \pm error estándar de pH edáfico a 0–15 cm. de profundidad, de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.

Recurso forrajero	pH 0 – 15 cm.			
	Primavera (D)	Verano (C)	Otoño (A)	Invierno (B)
Chloris b	9,15 \pm 0,03	9,33 \pm 0,09	9,58 \pm 0,05	9,47 \pm 0,07
Panicum b	9,00 \pm 0,07	9,25 \pm 0,09	9,68 \pm 0,20	9,48 \pm 0,06
Estepa Clausura a	9,30 \pm 0,04	9,68 \pm 0,08	10,1 \pm 0,05	9,68 \pm 0,05
Estepa Pastoreo a	9,45 \pm 0,03	9,63 \pm 0,02	10,1 \pm 0,02	9,73 \pm 0,02
Fuente de variación		G.L.	F	P
Recurso forrajero (n=16)		3	33,5	<0,0001
Estación del año (n=16)		3	58,6	<0,0001
Recurso forrajero x estación del año (n=4)		9	1,47	0,1982

Letras minúsculas/mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias de las filas/columnas para Tukey ($p < 0,05$).

- Conductividad eléctrica

La Conductividad Eléctrica (C.E.) del suelo varió entre 1 y 3,04 dS m⁻¹. Por lo tanto, estos suelos son no salinos a muy ligeramente salinos, de acuerdo a la clasificación del

Soil Survey Staff (1993). La C.E. sólo fue afectada significativamente por la estación del año (Tabla 3.7), y su comportamiento estacional fue similar al del pH superficial, observándose un incremento progresivo de la C.E. desde la primavera hasta el otoño y luego un descenso en invierno, cuando la C.E. fue similar a la de verano, inferior a la de otoño y superior a la registrada durante la primavera (Tabla 3.7).

Tabla 3.7: ANVA con medidas repetidas indicando media \pm error estándar de Conductividad Eléctrica edáfica (dS m⁻¹) a 0–15 cm. de profundidad, de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.

Recurso forrajero	C.E. 0 - 15 cm.			
	Primavera (C)	Verano (B)	Otoño (A)	Invierno (B)
Chloris	1,15 \pm 0,07	2,18 \pm 0,15	2,59 \pm 0,03	2,14 \pm 0,16
Panicum	1,14 \pm 0,07	2,01 \pm 0,17	2,71 \pm 0,33	2,11 \pm 0,07
Estepa Clausura	1,00 \pm 0,08	2,52 \pm 0,46	3,26 \pm 0,36	2,67 \pm 0,22
Estepa Pastoreo	1,45 \pm 0,15	2,44 \pm 0,24	3,04 \pm 0,17	2,58 \pm 0,21
Fuente de variación		G.L.	F	P
Recurso forrajero (n=16)		3	0,99	0,4409
Estación del año (n=16)		3	94,1	<0,0001
Recurso forrajero x estación del año (n=4)		9	1,48	0,2838

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias de las columnas para Tukey ($p < 0,05$).

- Relación de adsorción de sodio

La relación de adsorción de sodio (R.A.S.) del suelo varió entre 8,38 y 21,27. Se modificó con la estación del año y mostró una interacción significativa con el recurso forrajero (Tabla 3.8). En primavera y verano, estaciones en las que se registraron los valores de R.A.S. más bajos, los recursos forrajeros no se diferenciaron entre si. En el otoño, cuando los valores de R.A.S. se incrementaron respecto al verano, el R.A.S. del suelo de la estepa bajo clausura fue superior al de las especies sembradas. En invierno, la R.A.S. de la comunidad nativa (tanto en pastoreo como bajo clausura) disminuyó con respecto al otoño, y no se registraron diferencias entre recursos (Tabla 3.8).

Tabla 3.8: ANVA con medidas repetidas indicando media \pm error estándar de Relación de adsorción de sodio edáfica a 0–15 cm. de profundidad, de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.

Recurso forrajero	R.A.S. 0-15 cm.			
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Chloris	8,68 \pm 0,20 a	12,1 \pm 0,60 ab	14,1 \pm 0,39 abc	16,5 \pm 0,32 bcd
Panicum	8,55 \pm 0,19 a	11,4 \pm 0,67 ab	15,1 \pm 1,41 bc	14,8 \pm 1,49 bc
Estepa Clausura	8,38 \pm 0,56 a	13,9 \pm 2,30 abc	21,2 \pm 0,69 d	11,3 \pm 1,54 ab
Estepa Pastoreo	8,45 \pm 0,27 a	13,4 \pm 1,60 abc	18,5 \pm 2,01 cd	13,9 \pm 1,93 abc
Fuente de variación		G.L.	F	P
Recurso forrajero (n=16)		3	1,07	0,4111
Estación del año (n=16)		3	38,8	<0,0001
Recurso forrajero x estación del año (n=4)		9	3,79	0,0019

Letras distintas indican diferencias significativas entre medias para Tukey ($p < 0,05$).n=4

Sub-superficial (15 – 30 cm.)

- **pH**

El pH registrado a nivel subsuperficial fue diferente de acuerdo al recurso forrajero y la estación del año, con una interacción significativa entre ambos factores (Tabla 3.9). Durante la primavera y el verano, cuando el pH sub-superficial fue más bajo, el pH del suelo de Chloris fue significativamente inferior al pH del suelo de la comunidad nativa (tanto bajo pastoreo como en clausura) en primavera, y al de todos los recursos en verano. Durante otoño e invierno, cuando el pH sub-superficial fue más alto, no se encontraron diferencias significativas entre recursos forrajeros. (Tabla 3.9).

Tabla 3.9: ANVA con medidas repetidas indicando media \pm error estándar de pH edáfico a 15-30 cm. de profundidad, de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.

Recurso forrajero	pH 15-30 cm.			
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Chloris	9,50 \pm 0,06 ef	9,45 \pm 0,10 f	10,1 \pm 0,03 abc	9,95 \pm 0,18 bcd
Panicum	9,68 \pm 0,09 def	9,8 \pm 0,06 cde	10,1 \pm 0,10 abc	9,96 \pm 0,05 bcd
Estepa Clausura	9,93 \pm 0,05 bcd	9,95 \pm 0,03 bcd	10,3 \pm 0,08 a	10,1 \pm 0,10 ab
Estepa Pastoreo	9,93 \pm 0,05 bcd	9,73 \pm 0,09 cde	10,2 \pm 0,11 ab	9,95 \pm 0,06 bcd
Fuente de variación		G.L.	F	P
Recurso forrajero (n=16)		3	8,23	0,0061
Estación del año (n=16)		3	48,2	<0,0001
Recurso forrajero x estación del año (n=4)		9	2,69	0,0167

Letras distintas indican diferencias significativas entre medias para Tukey ($p < 0,05$). n=4

- **Conductividad eléctrica y Relación de adsorción de sodio.**

La C.E. y la R.A.S. subsuperficial mostraron un comportamiento similar, diferenciándose sólo debido a la estación (Tabla 3.10 y 3.11). Los valores más bajos de ambas variables se encontraron durante la primavera y los más altos durante el invierno, mientras que en verano y otoño los valores fueron intermedios (Tablas 3.10 y 3.11).

Tabla 3.10: ANVA con medidas repetidas indicando media \pm error estándar de Conductividad Eléctrica edáfica (dS m^{-1}) a 15-30 cm. de profundidad, de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.

Recurso forrajero	C.E. 15-30 cm.			
	Primavera (C)	Verano (B)	Otoño (B)	Invierno (A)
Chloris	1,34 \pm 0,30	2,17 \pm 0,04	1,90 \pm 0,05	3,05 \pm 0,23
Panicum	1,49 \pm 0,09	1,85 \pm 0,29	2,00 \pm 0,29	2,75 \pm 0,03
Estepa Clausura	1,72 \pm 0,18	2,71 \pm 0,17	2,50 \pm 0,30	2,68 \pm 0,52
Estepa Pastoreo	1,64 \pm 0,12	1,91 \pm 0,13	1,44 \pm 0,26	3,11 \pm 0,39
Fuente de variación		G.L.	F	P
Recurso forrajero		3	0,97	0,4483
Estación del año		3	39,7	<0,0001
Recurso forrajero x estación del año		9	3,99	0,0671

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias de las columnas para Tukey ($p < 0,05$).

Tabla 3.11: ANVA con medidas repetidas indicando media \pm error estándar de Relación de adsorción de sodio edáfica a 15-30 cm. de profundidad, de los recursos forrajeros en las distintas estaciones del año.

Recurso forrajero	R.A.S. 15-30 cm.			
	Primavera (C)	Verano (B)	Otoño (B)	Invierno (A)
Chloris	7,51 \pm 0,65	8,75 \pm 0,61	11,3 \pm 0,72	17,07 \pm 0,88
Panicum	8,05 \pm 0,21	11,6 \pm 1,88	10,7 \pm 2,83	17,53 \pm 1,42
Estepa Clausura	7,83 \pm 0,73	12,2 \pm 1,49	12,0 \pm 2,27	13,29 \pm 2,32
Estepa Pastoreo	7,93 \pm 0,59	10,7 \pm 1,40	10,9 \pm 1,42	14,05 \pm 2,42
Fuente de variación		G.L.	F	P
Recurso forrajero		3	0,27	0,8478
Estación del año		3	26,8	<0,0001
Recurso forrajero x estación del año		9	1	0,5015

Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre medias de las columnas para Tukey ($p < 0,05$).

3.3.3 Materia orgánica

Al finalizar el período experimental, el contenido de materia orgánica del suelo fue diferente entre los distintos recursos forrajeros (Tabla 3.12). La materia orgánica del suelo en el que se sembraron las especies megatérmicas fue más alta, aunque sólo el de Panicum se diferenció estadísticamente de la comunidad nativa (Tabla 3.12).

Tabla 3.12: ANVA indicando media \pm error estándar de Materia orgánica edáfica (%), de los recursos forrajeros.

Recurso forrajero	Materia orgánica (%)		
Chloris ab	2,80 \pm 0,18		
Panicum a	3,10 \pm 0,20		
Estepa Clausura b	2,10 \pm 0,27		
Estepa Pastoreo b	2,25 \pm 0,17		
Fuente de variación	Grados de libertad	F	P
Recurso forrajero (n=16)	3	6,87	0,0104

Letras distintas indican diferencias significativas entre medias para Tukey ($p < 0,05$).

3.3.4 Relaciones entre variables

Se observó una correlación positiva y altamente significativa entre las variables de halomorfismo edáfico (pH, CE y RAS), tanto a nivel superficial, como sub-superficial. Por su parte, se observó una correlación negativa entre la cobertura vegetal y el pH a ambas profundidades y con la C.E. sólo a nivel superficial (Tablas 3.13).

Tabla 3.13. Coeficientes de correlación de Pearson y valores p para pH, CE y RAS a 0-15 y 15 - 30 cm. de profundidad y Cobertura vegetal.

Halomorfismo Edáfico		CE	RAS	Cobertura vegetal
0-15 cm.				
pH 0-15	r	0,754	0,695	-0,895
	p	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	n	64	64	36
CE 0-15	r		0,59	-0,543
	p		<0,0158	0,0299
	n		64	36
RAS 0-15	r			-0,329
	p			0,2125
	n			36
15-30 cm.				
pH 15-30	r	0,325	0,38	-0,637
	p	0,0096	0,0019	0,0079
	n	64	64	36
CE 15-30	r		0,58	-0,156
	p		<0,0002	0,5621
	n		64	36
RAS 15-30	r			0,167
	p			0,535
	n			36

La cobertura vegetal también mostró correlación positiva con la materia orgánica y la tasa de infiltración y negativa con la densidad aparente y el CDMP. La densidad aparente mostró correlación negativa con la tasa de infiltración y la materia orgánica. Estas dos últimas variables mostraron correlación positiva entre sí (Tabla 3.14).

Tabla 3.14. Coeficientes de correlación de Pearson entre Densidad aparente, Cambio en Diámetro Medio Ponderado (CDMP), Tasa de Infiltración, Materia orgánica y Cobertura Vegetal.

		CDMP	T. infiltración	M. orgánica	Cobertura vegetal
D. aparente	r	0,195	-0,450	-0,657	-0,698
	p	0,1226	0,0002	0,0056	0,0031
	n	64	64	16	16
CDMP	r		-0,088	-0,425	-0,616
	p		0,4864	0,1004	0,011
	n		64	16	16
T. infiltración	r			0,487	0,671
	p			0,0552	0,0044
	n			16	16
M. orgánica	r				0,682
	p				0,0026
	n				16

La cobertura vegetal aparece como la variable independiente que más influencia ejerce sobre los parámetros físicos y sobre los parámetros indicadores de halomorfismo, tanto en forma directa como indirecta. Los valores de coeficientes de determinación R^2 hallados (a excepción de la variable pH 0-15) (Tabla 3.15), indican que una parte importante de la variación encontrada en las diferentes variables es debida a efectos

residuales que no fueron evaluados en el presente trabajo de tesis. Posiblemente se trate de los efectos generados a partir de la mayor biomasa de raíces lograda en las parcelas sembradas, y su mayor producción de CO₂, exudados radicales, y polisacáridos e hifas fúngicas asociadas.

Dentro de los parámetros físicos la densidad aparente correlaciona significativamente como variable dependiente con la Cobertura vegetal en primer término de importancia y con la materia orgánica en segundo término en forma directa e indirecta. La tasa de infiltración correlaciona con la densidad aparente, y con el pH 15-30 en forma directa, y con la cobertura vegetal en forma indirecta, a través de la correlación infiltración-pH 15-30. El CDMP presenta una correlación significativa directa con la Cobertura y con el pH 0-15, a través de la correlación Cobertura vegetal-pH 0-15 (Tabla 3.15).

Respecto de los parámetros indicadores de halomorfismo edáfico, el pH 0-15 registró una correlación altamente significativa con la cobertura en forma directa y con el contenido de materia orgánica, tanto en forma directa como a través de la correlación Cobertura pH 0-15. El pH 15-30 correlacionó fuertemente a la Cobertura vegetal tanto en forma directa como a través de la correlación de esta variable con el pH 0-15, y con el pH 0-15 en forma directa e indirecta. La C.E. y RAS superficiales correlacionaron significativamente con la M.O. en forma directa. Finalmente, la RAS subsuperficial correlacionó significativamente con la CE subsuperficial y con la RAS superficial en forma directa (Tabla 3.15).

Tabla 3.15. Análisis de senderos resumido indicando valores p y r (total, directo e indirecto) para las relaciones entre Parámetros Físicos - Parámetros indicadores de Halomorfismo - Cobertura vegetal - M.O.

Variable dependiente	n	Efecto	Valor p	r total	r directo	r indirecto (*)	R ²
Densidad	16	Cobertura	0,0031	-0,69	-0,45	-0,24 (M.O.)	0,5415
		M.O.	0,0056	-0,66	-0,35	-0,31 (Cobertura)	
Infiltración	16	Cobertura	0,0044	0,67	0,72	_0,29 (Densidad)	0,5283
		Densidad	0,0512	-0,5	-0,42	-0,05 (Cobertura)	
		pH 15-30	0,0032	-0,48	-0,38	-0,46 (Cobertura)	
		M.O.	0,052	0,49	0,15	0,49 (Cobertura)	
CDMP	36	Cobertura	0,0041	-0,47	-0,4	-0,19 (pH 15-30)	0,194
		pH 0-15	0,0576	0,3	0,02	0,23 (Cobertura)	
pH 0-15	16	Cobertura	0,0001	-0,89	-0,64	-0,26 (M.O.)	0,8693
		M.O.	0,0001	-0,81	-0,37	-0,44 (Cobertura)	
pH 15-30	36	Cobertura	0,0079	-0,64	-0,41	-0,27 (pH 0-15)	0,4484
		pH 0-15	0,0108	0,62	0,3	0,37 (Cobertura)	
C.E. 0-15	36	M.O.	0,0031	-0,69	-0,6	-0,09 (Cobertura)	0,4896
		Cobertura	0,0299	-0,54	-0,14	-0,41 (M.O.)	
RAS 0-15	36	M.O.	0,0019	-0,71	-0,91	0,20 (Cobertura)	0,7877
		CE 0-15	0,0158	0,59	0,24	0,53 (Cobertura)	
RAS 15-30	64	CE 15-30	0,0002	0,58	0,57	0,04 (RAS 0-15)	0,3999
		RAS 0-15	0,051	0,33	0,21	0,10 (CE 15-30)	

(*) En el Anexo III se presentan los resultados completos de para cada variable.

Como es esperable, se encontró una correlación negativa altamente significativa entre la traficabilidad y el contenido hídrico del suelo, tanto analizando todos los recursos forrajeros de manera conjunta ($r: -0,814$; $p < 0,0001$; $n = 64$), como por separado (Fig. 3.1). Con altos contenidos hídricos la traficabilidad fue baja en todos los recursos

forrajeros, mientras que con bajos contenidos hídricos (verano), las curvas de regresión contenido hídrico-trafficabilidad de los distintos recursos se separaron, ya que los suelos de la comunidad nativa mostraron valores de trafficabilidad superiores a los suelos donde se implantaron las especies megatérmicas (Fig. 3.1), presentando diferencias significativas en sus ordenadas al origen ($p < 0,005$).

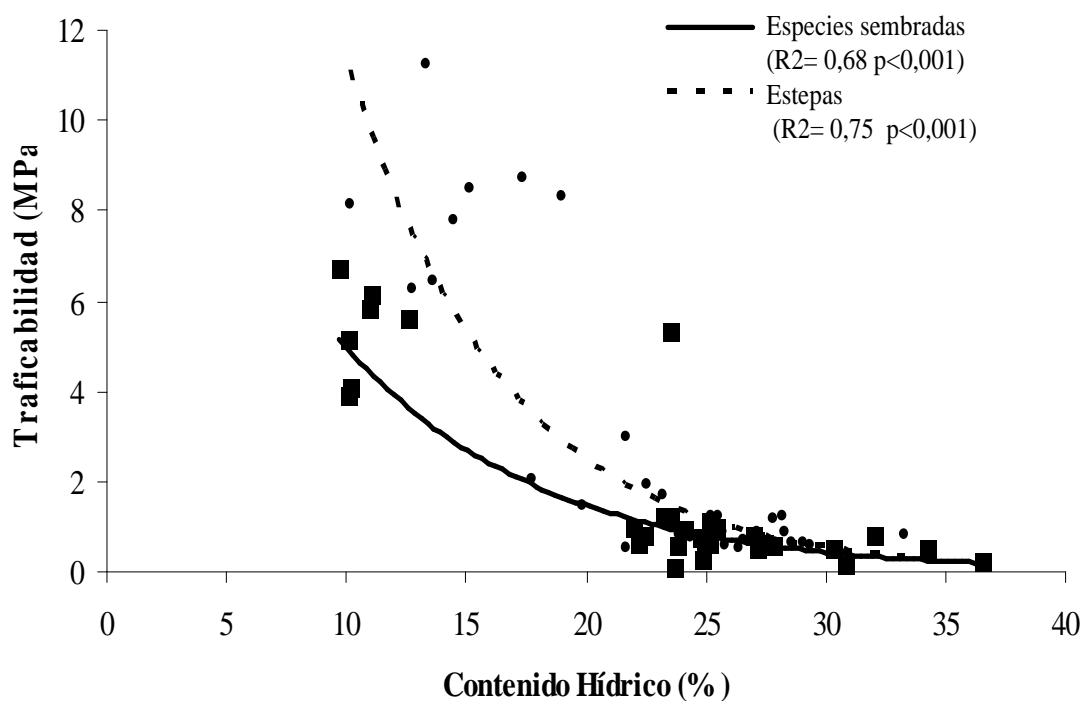


Figura 3.1: Relación entre Trafficabilidad y Contenido Hídrico para las especies sembradas (línea punteada), y para las estepas (línea llena).

3.4 DISCUSIÓN

3.4.1 Propiedades físicas

La implantación de *Chloris gayana* y *Panicum coloratum* provocó descensos significativos en la densidad aparente del suelo, respecto del suelo de la comunidad nativa, tanto cuando fue laboreado como cuando no. Estos resultados coinciden con los reportados como resultado de la implantación de agropiro (*Thinopyrum ponticum*) en suelos halomórficos de la región pampeana (Casas y Pittaluga, 1984; Taboada *et al.*, 1998). También se ha obtenido la misma respuesta utilizando *Leptochloa fusca* sobre suelos halomórficos de Pakistán (Akhter *et al.*, 2004) y con leguminosas arbóreas en suelos sódicos en la India (Mishra y Sharma, 2003). Este descenso de la densidad aparente al sembrar especies de rápido crecimiento en suelos halomórficos se debería principalmente a la creación de poros por parte de las raíces de las especies introducidas, variable no evaluada en el presente estudio y que podría explicar gran parte de la variación encontrada debida a efectos residuales, y como causa secundaria, a la mayor cobertura vegetal y consecuente incremento en el aporte de materia orgánica

en forma de broza (Mishra y Sharma, 2003; Akhter *et al.*, 2004). El mayor contenido de materia orgánica de los suelos al finalizar el ensayo (a los cuatro años de la siembra de las especies megatérmicas) apoyan esta afirmación. Estudios recientes realizados en un ambiente similar, han demostrado que también es posible obtener incrementos en la materia orgánica de los suelos y descensos de la densidad aparente en pastizales pastoreados a través del manejo de los descansos, sin necesidad de roturar el suelo ni implantar especies (Vecchio *et al.*, 2009).

El trabajo de preparación del suelo previo a la implantación de las especies megatérmicas podría también haber generado una mayor porosidad y, por lo tanto, hecho disminuir la densidad aparente del suelo. Sin embargo, como los macroporos que producen las labranzas suelen ser poco persistentes (Rengasamy y Olsson, 1991), su efecto sólo se habría expresado al comienzo del periodo experimental. La falta de diferencias de densidad aparente entre las parcelas de la Estepa clausura (laboreada) y la Estepa pastoreo (no laboreada) respaldan esta idea. Tampoco el contenido hídrico fue determinante en las diferencias de densidad encontradas, ya que éste fue similar entre recursos forrajeros y no estuvo correlacionado con la misma.

El trabajo de preparación del suelo previo a la implantación también pudo incrementar la inestabilidad estructural en las parcelas laboreadas (*Chloris*, *Panicum* y Estepa Clausura), debido a la fragmentación de agregados y a la exposición resultante de fracciones protegidas a agentes erosivos (Vázquez *et al.*, 1990; Gudelj y Masiero, 2000; Álvarez *et al.*, 2006). Sin embargo, sólo la comunidad natural laboreada (estepa clausura) registró valores de inestabilidad estructural superior al resto de los recursos forrajeros. La recuperación diferencial de *Chloris* y *Panicum* respecto de la Estepa Clausura podría explicarse, al menos en parte, por la mayor biomasa producida y la mayor cobertura del suelo alcanzada por ambas especies. En este sentido, varios estudios informan aumentos progresivos de la estabilidad estructural del suelo por el crecimiento de cultivos (Boyle *et al.*, 1989; Caron *et al.*, 1992; Haynes y Francis, 1993; Perfect *et al.*, 1990; Tisdal, 1991; Chenu *et al.*, 2000; Akhter *et al.*, 2004). Todos estos autores adjudican los aumentos en la estabilidad de los agregados al aumento de la biomasa y densidad de raíces, y a la producción de exudados rizosféricos, polisacáridos e hifas fúngicas asociadas. Mencionan además que el aumento en la cobertura del suelo impide el impacto directo de las gotas de lluvia, protegiendo a los agregados superficiales. En la comunidad natural laboreada (estepa clausura), la clausura al pastoreo durante tres años no logró revertir la inestabilidad provocada por el laboreo, por lo que se especula que esta comunidad podría requerir un período de clausura aún mayor, o bien que el laboreo de estos suelos provocaría cambios en su estabilidad estructural poco reversibles cuando no es acompañado por la instalación de especies de alta producción de biomasa.

La implantación de *Chloris gayana* y *Panicum coloratum* incrementó la tasa de infiltración del agua, tal como ha sido hallado por Meek *et al.* (1990) y Mishra y Sharma (2003) en suelos halomórficos implantados con diferentes especies. Esta variable mostró una fuerte correlación con la cobertura vegetal, con la densidad aparente y con algunos parámetros de halomorfismo, poniendo así en evidencia que el incremento en la tasa de infiltración registrado en las parcelas sembradas es multicausal. Varios autores lo atribuyen a la cobertura vegetal, debido a que ésta impide el sellado superficial del suelo y disminuye la velocidad de escurrimiento (Phillips, 1984; Mielke *et al.*, 1986). Otros hallaron incrementos en la tasa de infiltración de diferentes suelos relacionados a descensos en su densidad aparente (Olsen, 1960; Gumbs y Warkentin, 1972). También a aumentos en el contenido de materia orgánica debido a que ésta aumenta la estabilidad de los agregados y la porosidad y proporción de poros estables

(Tisdall y Adem, 1986; Bullock, 1992; Kladvko, 1994; Chagas *et al.*, 1995; Unger, 1997).

Las diferencias halladas en la traficabilidad de los suelos estuvieron fuertemente vinculadas con el contenido hídrico edáfico, y en menor medida, con efectos causados por los recursos forrajeros. En este sentido Duran García (2002) menciona que la traficabilidad de un suelo está determinada en primer lugar por su contenido de humedad, y luego por factores tales como tamaño de las partículas minerales, tamaño y forma de los agregados, y grado de consolidación alcanzado por los mismos. Christensen *et al.* (1989) y Álvarez *et al.* (2006) explican que la traficabilidad tiende a disminuir al incrementarse el contenido hídrico edáfico, ya que el agua presente en el suelo disminuye la cohesión de sus agregados. La traficabilidad fue máxima durante el verano, coincidiendo con el contenido hídrico edáfico más bajo. En esta estación el suelo de las estepas (E. clausura y E. pastoreo) presentó valores de traficabilidad superiores al suelo de las parcelas sembradas (*Chloris* y *Panicum*). Estas diferencias podrían explicarse por la mayor densidad aparente registrada en el suelo de las estepas, ya que existe una relación positiva entre traficabilidad y densidad aparente (Taylor y Brar, 1991). Ello se debe a que los poros más grandes generados por las raíces son menos resistentes a la compresión que los poros más pequeños (Willat, 1987).

3.4.2 Parámetros indicadores de halomorfismo edáfico

El pH fue el parámetro de halomorfismo edáfico más afectado por la implantación de las especies megatérmicas. A nivel superficial, la incorporación de *Chloris gayana* y *Panicum coloratum* provocó un descenso significativo del pH, en coincidencia con los resultados de la implantación de agropiro (*Thinopyrum ponticum*) en suelos halomórficos de la región pampeana (Casas y Pittaluga, 1984; Irigoyen *et al.*, 1990). Sin bien en el presente estudio no se evaluó la biomasa de raíces de los recursos forrajeros, su mayor producción de biomasa aérea, que generó mayor Cobertura vegetal y aporte de M.O., permite suponer un incremento del área explorada por las raíces, tal como fuera demostrado en diferentes especies y condiciones nutricionales (Troughton, 1977; Hunt y Nobel, 1987; Nielsen *et al.*, 2001). El mayor volumen radical de las especies sembradas y, por lo tanto, su mayor actividad pudo haber provocado un incremento en la presión parcial de CO₂, que colaboró en disolver la calcita (CaCO₃), promoviendo descensos del pH por reemplazo del sodio (Na⁺) adsorbido a los coloides del suelo por calcio (Ca²⁺) liberado de la calcita (Semple *et al.*, 2003; Qadir *et al.*, 2007). Además, factores como la generación de exudados rizosféricos o la liberación de protones por parte de las raíces (Qadir *et al.*, 2007) también pueden haber provocado los descensos de pH encontrados. En este sentido Yang *et al.* (2010), reportan descensos de pH por segregación radical de ácidos orgánicos en plantas de *Chloris virgata*. Estos factores que no fueron evaluados en el presente estudio podrían explicar parte de la variación encontrada debida a efectos residuales.

El efecto de las especies sembradas fue menos marcado a nivel subsuperficial, posiblemente debido a una menor concentración de raíces, ya que la reducción de pH se da principalmente en las cercanías de las mismas, durante el crecimiento activo de las plantas (Robbins, 1986; Ilyas *et al.*, 1993; Qadir y Oster, 2002).

A pesar del descenso registrado en el pH, la implantación de las especies en estudio no llegó a afectar el fuerte carácter sódico del suelo. Posiblemente sea necesario un mayor volumen de raíces, o más tiempo de acción de las mismas, para lograr una disminución del R.A.S. En este sentido, varios autores (Qadir *et al.*, 1996; Ahkter *et al.*,

2003; Mishra y Sharma, 2003) mencionan que el efecto de las especies sobre el suelo sería proporcional a la biomasa de raíces generada y al tiempo de actividad y permanencia de las mismas en el suelo, mientras que estudios recientes han demostrado que clausurando un pastizal natural durante 8 años es posible lograr mejoras sustanciales tanto del pH como de la R.A.S (Vecchio *et al.*, 2009). También podría especularse que las raíces de las especies evaluadas no fueron capaces de atravesar el horizonte B textural, lo que dificultaría el lavado en profundidad de la gran cantidad de cationes Na^+ , que es necesario reemplazar para producir impactos importantes en la reacción de estos suelos. Además en el presente estudio no se aplicó riego para lixiviar estos cationes, cuestión considerada importante en el proceso de fitorremediación en regiones de regímenes pluviométricos inferiores a la estudiada (Qadir *et al.*, 1996; Qadir y Oster, 2002; Ahkter *et al.*, 2003). Estudios a largo plazo que incluyan evaluaciones de las raíces y riegos complementarios en los períodos de mayor actividad de las especies son necesarios para confirmar o rechazar estos supuestos.

3.5 CONCLUSIONES

En el presente estudio la implantación de *Chloris gayana* y *Panicum coloratum* provocó incipientes, aunque relevantes, mejoras en las propiedades físicas del suelo y su contenido de materia orgánica, y en menor medida, en los parámetros de halomorfismo. Las especies sembradas promovieron descensos de la densidad aparente, los que se explicarían por la creación de bioporos por parte de las raíces. Los efectos rizosféricos asociados a las mismas, junto a la mayor cobertura del suelo y aporte de broza, serían los promotores de las mejoras de estabilidad estructural observadas. Además, la mayor cantidad de bioporos estables, junto a la mayor presencia de biomasa en superficie provocaron un incremento en la tasa de infiltración de agua al suelo. Estos resultados no permiten rechazar la primera hipótesis planteada en este capítulo, referida a la mejora de las propiedades físicas de los suelos. La menor densidad dio lugar además a una menor dureza del suelo en verano, estación en la que suelen registrarse valores de traficabilidad perjudiciales para las plantas.

Con respecto a los parámetros de halomorfismo edáfico evaluados, sólo se observaron descensos de pH, que sin embargo, no llegaron a afectar el fuerte carácter sódico del suelo, por lo cual la segunda hipótesis se rechaza sólo en forma parcial. Posiblemente sea necesario un mayor volumen de raíces o más tiempo de acción de las mismas para lograr una mejora sustancial. Estudios a largo plazo que incluyan evaluaciones de las raíces de estas especies son necesarios para confirmar o rechazar estos supuestos.

Finalmente el mayor aporte de residuos vegetales debido a la alta producción de biomasa de ambas especies determinó un incremento de la materia orgánica del suelo, por lo que no se rechaza la tercer hipótesis planteada en el presente capítulo.

CAPITULO 4

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

4.1. DISCUSIÓN GENERAL:

En esta tesis se evaluaron los efectos de la introducción de *Chloris gayana* y *Panicum coloratum* sobre características agronómicas y edáficas de un pastizal halomórfico de la Pampa Inundable. Los estudios realizados estuvieron orientados, por un lado, al análisis de la implantación, producción primaria neta aérea (PPNA) y la calidad forrajera de estas especies y, por otro lado, al análisis de parámetros indicadores de fertilidad edáfica, tanto físicos (densidad aparente, estabilidad estructural, tasa de infiltración y traficabilidad), como químicos (pH, conductividad eléctrica, relación de absorción de sodio y contenido de materia orgánica).

Los hallazgos considerados más originales y relevantes de esta tesis en el contexto del conocimiento local y general sobre la fitorremediación y las alternativas forrajeras para ambientes halomórficos se esquematizan en la Figura 4. La implantación de *C. gayana* y *P. coloratum* incrementó significativamente la PPNA respecto de la estepa de halófitas, lo que repercutió positivamente sobre la cobertura del suelo y su contenido de materia orgánica, promoviendo mejoras incipientes, pero relevantes, en las características físicas del suelo.

El incremento de la PPNA registrado permite suponer un incremento de la biomasa de raíces, tal como fuera demostrado por varios autores en diferentes especies y condiciones nutricionales (Troughton, 1977; Hunt y Nobel, 1987; Nielsen *et al.*, 2001). Estas raíces actúan como generadoras de bioporos, que junto a la mayor cobertura vegetal y aporte de materia orgánica, evidenciado en los mayores contenidos registrados al final del ensayo, serían responsables del descenso de la densidad aparente hallado en el suelo de las parcelas sembradas (Mishra y Sharma, 2003; Akhter *et al.*, 2004). Asimismo, la mayor presencia de cobertura vegetal, junto a los exudados de las raíces, serían los promotores principales de las mejoras de estabilidad estructural encontradas (Boyle *et al.*, 1989; Caron *et al.*, 1992; Haynes y Francis, 1993; Perfect *et al.*, 1990; Tisdal, 1991; Chenu *et al.*, 2000; Akhter *et al.*, 2004). Ambas mejoras, la menor densidad aparente y la mayor estabilidad estructural, habrían determinado la menor dureza (traficabilidad) del suelo registrada en las parcelas sembradas durante el verano (Willat, 1987; Taylor y Brar, 1991), estación en la que suelen registrarse valores limitantes para el enraizamiento de las plantas (Grant y Lafond, 1993). Finalmente el aumento en la cobertura y el descenso en la densidad, junto a una leve mejora en los parámetros indicadores de halomorfismo habrían determinado un mayor ingreso de agua al suelo, a través de mejorar su tasa de infiltración (Olsen, 1960; Gumbs y Warkentin, 1972; Phillips, 1984; Mielke *et al.*, 1986), cuestión de vital importancia para las plantas en estos ambientes.

El efecto de las especies implantadas sobre las propiedades químicas que determinan el halomorfismo edáfico fue de menor magnitud. Sólo se registró una leve disminución del pH superficial fuertemente vinculado al incremento en Cobertura vegetal y materia orgánica, que se debería a una mayor biomasa y actividad de las raíces, que habrían generado un incremento en la secreción de exudados rizosféricos y

en la presión parcial de CO₂ (Qadir *et al.*, 2007; Semple *et al.*, 2003). Si bien el descenso de pH registrado es significativo, no llegaría a afectar el fuerte carácter sódico del suelo.

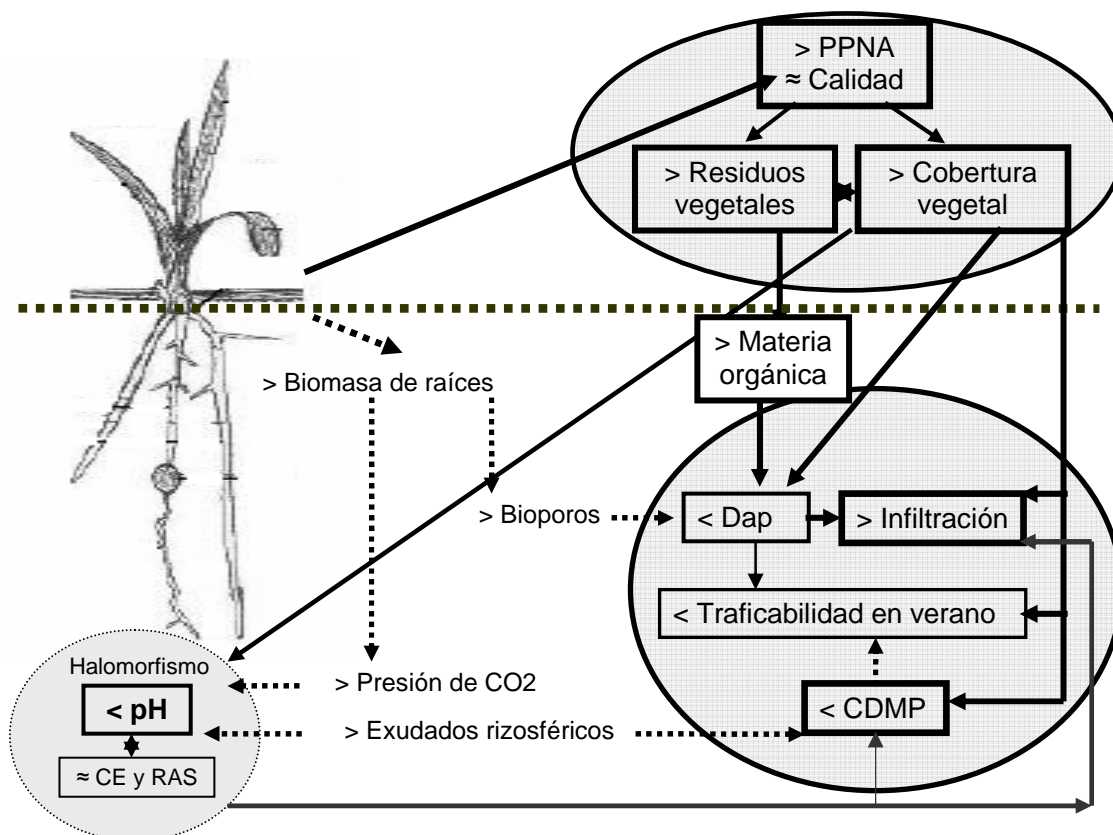


Figura 4.1: Efectos principales de la introducción de *Chloris gayana* y *Panicum coloratum* sobre las características agronómicas y edáficas de un ambiente halomórfico de la Pampa Inundable. Líneas enteras indican correlaciones significativas entre variables evaluadas, líneas punteadas indican relaciones descritas en la bibliografía.

4.2 CONCLUSIONES GENERALES Y APLICACIONES FUTURAS

En el presente trabajo de tesis se comprobó que la introducción de *Chloris gayana* y *Panicum coloratum* en suelos Natracualfes de la Pampa Inundable permitió incrementar la PPNA de la comunidad nativa. Sin embargo, contrariamente a lo esperado, no se registró una mejora en su calidad nutricional. También se comprobó que estas especies promovieron mejoras incipientes, aunque relevantes, en los parámetros físicos del suelo, a través de un aumento en la estabilidad estructural y la tasa de infiltración, y un descenso en la densidad aparente. Sin embargo los efectos sobre los parámetros de halomorfismo fueron leves, observándose sólo una disminución significativa de pH que no llegó a afectar el fuerte carácter sódico del suelo.

Los resultados mencionados sugieren que luego de la implantación de *C. gayana* y *P. coloratum* se inicia un círculo virtuoso, donde la mayor producción de biomasa promovería cambios favorables principalmente de la fertilidad física edáfica, que a su vez favorecerían la posterior implantación y producción de éstas u otras especies.

Sin embargo, se debería ser cuidadoso antes de generalizar esta conclusión, por las siguientes razones:

i) La implantación de estas especies resulta altamente variable, registrándose tanto implantaciones que permiten cubrir la totalidad del suelo a pocas semanas de la siembra, como implantaciones donde no se registran nacimientos (Otondo, 2010). Esta variabilidad constituye un riesgo importante, ya que de no implantarse rápidamente las especies el suelo permanecería desnudo e improductivo y la pérdida de estabilidad estructural provocada por la labranza sería difícil de revertir.

ii) El stand de plantas de las especies implantadas no fue afectado por las temperaturas invernales. Sin embargo, en evaluaciones posteriores realizados hacia el oeste y sur de la región se ha observado una disminución parcial, y en algunos casos total, del stand de plantas de *C. gayana* luego del primer invierno de la implantación (Otondo *et al.*, 2011). En cambio, la mayor tolerancia a las temperaturas invernales manifestada por *Panicum coloratum*, junto a su gran producción de semillas que permite la instalación de nuevas plantas en años posteriores a la implantación, sugeriría a esta especie con mejor potencial para su difusión en la región.

iii) Durante todo el período experimental (4 años) las parcelas sembradas permanecieron clausuradas, y sólo se retiró el forraje utilizado en las evaluaciones de PPNA. Por ello sería esperable que bajo pastoreo la cobertura vegetal compuesta por material muerto y los aportes de materia orgánica sean sensiblemente inferiores, y consecuentemente también menores los efectos fitorremediadores de las especies sembradas.

Por todo lo mencionado se considera necesario, previo a la difusión de estas especies, realizar estudios que permitan disminuir los riesgos que conlleva su implantación (fechas, densidades y sistemas de siembra, así como tratamientos de semilla), y estudios de mayor duración y distribución areal que permitan acotar el área potencial de siembra de ambas especies dentro de la Pampa Inundable. Respecto de la utilidad de las especies estudiadas como fitorremediadoras deberían realizarse por un lado investigaciones con animales en pastoreo que permitan determinar la magnitud de su efecto fitorremediador en una situación similar a la de un establecimiento comercial, y por otro lado, estudios de las raíces de estas especie que permitan determinar si con mayor volumen y/o tiempo de acción son capaces de provocar una mejora significativa en los parámetros de halomorfismo. Además debería evaluarse el impacto de la inclusión de estas especies sobre la persistencia de especies nativas, y su relación con la diversidad local de estos ambientes y la diversidad del paisaje. Por último, y de lograrse avances en estos tópicos, sería esperable que la mayor producción de biomasa lograda por estas especies ocasionará una mayor extracción de nutrientes del suelo, por lo que será necesario trabajar en alternativas como fertilización y consociaciones con leguminosas a fin de lograr un aprovechamiento sustentable del recurso suelo.

ANEXO I

MOSAICO: RECORRIDO: AEROFOTO: FECHA: 7-10-2011 OBSERV. Nº CHASCONUS

SERIE: FASE:

SÍMBOLO: GRAN GRUPO:

CLASIFICACION UTILITARIA símbolo: Limitaciones Principales:

UBICACION: PDL HITA 20, A 40 km PL E DE CHASCONUS

PAISAJE tipo: forma: símbolos:

VEGETACION NATURAL o CULTIVOS: PDL DE CARCHO

MATERIAL ORIGINARIO: LOES DASILEANO

RELEVE:	PRONUNCIADO NORMAL (SUBNORMAL) - CONCAVO	PELIGRO DE ANEGAMIENTO	clase 1	clase 2	clase 3	clase 4	clase 5	
POSICIÓN:	Loma Media loma alta Media loma Media loma baja Pie de loma (Bajo)	DISTRIBUCION de la HUMEDAD	uniforme no uniforme	seco	fresco	húmedo	mojado	
PENDIENTE Clases %	1 0-1% 2 1-3% 3 3-10% 4 10-25% 5 25-45% 6 45%	COBERTURA VEGETAL %	40					PROFUNDIDAD de la NAPA:
ESCURRIMIENTO (Grados)	0 estancado 1 muy lento 2 lento 3 medio 4 rápido 5 muy rápido	SALES o ALCALIS	clase 0	clase 1	clase 2	clase 3	clase 4	
PERMEABILIDAD (Grados)	1 muy lenta 2 lenta 3 moder. lenta 4 moder. 5 moder. rápida 6 rápida 7 muy rápida	PEDREGOSIDAD o ROCOSIDAD	grado 0	grado 1	grado 2	grado 3	grado 4	
EROSIÓN: (Clases)	x o H1E ligera H2E moderada H3E Severa H4E grave H5E muy grave	USO DE LA TIERRA	A	P	F	H	B S X M	

Clasificación TAXONOMICA = NATURAL TIPO, FINA.

HORIZONTE	PROFUND. cm.	LIMITE tipo forma	COLOR S en seco H en húmedo	TEXTURA	ESTRUCTURA a tipo b clase c grado	CONSISTENCIA				CO = 3	concrec.	BARRILES presenc. color	MOTEAJOS	HUMEDAD	RAICES	FORMACIONES ESPECIALES
						S	H	M adhes.	pH							
A	0	cuadro suave	S 10YR 6/3 H 10YR 3/4	FPA fino	a bloques & b finos c nodulizantes	duro	fiere	ni	9,2	X	FEM	-	EFJ	F	R	
BL1	12	cuadro suave	S 2,5Y 5/2 H 10YR 3/2	ADC	a bloques & b gruesos c nodulizantes	duro	fiere	ni	9,6	X	FEM	asc	CMF	H	R	
BL2	28	cuadro suave	S 2,5Y 3/3 H 2,5YR 3/2	ADC	a bloques & b finos c nodulizantes	duro	fiere	ni	9,6	X	FEM	asc	CMF	F	R	
BC1	47	cuadro suave	S 10YR 6/4 H 2,5YR 4/6	FPA All. lim.	a bloques & b finos c debiles	duro	fiere	ni	9,4	X	FEM	-	AMP	F	R	
BC2	70	cuadro suave	S 10YR 6/4 H 10YR 5/3	FPA All. lim.	a bloques & b fino. laminar c teno. laminar	duro	fiere	lig.	8,8	-	FEM	-	AMP	F	R	
C	95	cuadro suave	S H 2,5YR 4/6	FPA All. lim.	a b laminar. c	plancha	fiere	si	8,8	X	FEM	-	AMP	F		
	140		S H		a b c											

ANEXO II. Producción Primaria Neta Aérea (PPNA) reportada para *Chloris gayana*, *Panicum coloratum* y estepa de halófitas dominada por *Distichlis spicata*, en distintos sitios del país.

Recurso forrajero	PPNA (Kg. MS ha ⁻¹)	Suelo	Sitio	Autor
<i>Chloris gayana</i>	6000	Llanura salina	Tucumán	Ricci et al., 2000 b
	6529	Natrastol	Santiago del	Renolfi et al., 2007 a

			estero	
	4000	Ustorrente típico	Chaco	Renolfi <i>et al.</i> , 2007
	5400	Haplustol éntico	Santiago del Estero	Cornacchione <i>et al.</i> , 2007
	6290	Argiudol típico	Cuenca del Salado	Huarte y García, 2008
	5990	Ustorrente típico	Chaco Serrano	Radrizzani <i>et al.</i> , 2005
	4000	Natracuoles y natracualfes	Santa Fé	Castro <i>et al.</i> , 2001
	9126	Suelo salino	Santiago del Estero	Cornacchione <i>et al.</i> , 2007
	11575	Argiudol vértico	Corrientes	Borrajo <i>et al.</i> , 2008
	7908	Complejo sódico	Santa Fé	Monti <i>et al.</i> , 2009
	5765	Sin datos	Córdoba	De León <i>et al.</i> , 1995
	8324	Sin datos	La Pampa	Stritzler <i>et al.</i> , 1996
	4000	Natracuoles y natracualfes	Santa Fé	Castro <i>et al.</i> , 2001
	2670	Sin datos	La Rioja	Ferrando <i>et al.</i> , 2005
<i>Panicum coloratum</i>	3349	Natrustol	Santiago del estero	Renolfi <i>et al.</i> , 2007a
	3000	Ustorrente típico	Chaco	Renolfi <i>et al.</i> , 2007b
	3500	Haplustol éntico	Santiago del Estero	Cornacchione <i>et al.</i> , 2007
	3920	Argiudol típico	Cuenca del Salado	Huarte y García, 2008
	4117	Ustorrente típico	Chaco Serrano	Radrizzani <i>et al.</i> , 2005
	2100	Natracualf	Cuenca del Salado	Hidalgo y Cauhepé, 1991
Estepa de halófitas	1500-3000	Sin datos	Córdoba	Montani <i>et al.</i> , 2002
	3000	Natracualf	Cuenca del Salado	Vecchio <i>et al.</i> , 2008
	2190-2750	Natracualf	Cuenca del Salado	Ansín <i>et al.</i> , 2004

ANEXO III. Coeficientes de Sendero calculados entre las variables físicas, indicadores de halomorfismo edáfico, cobertura vegetal y materia orgánica.

Variable dependiente: densidad; n=16

Efecto	Vía	Coeficientes	p-valor
M.O.	Directa	-0,35	
M.O.	cob	- 0,31	
r total		0,66	0,0056
cob	Directa	-0,45	

cob	M.O.	-0,24	
r total		-0,69	0,0031

Variable dependiente: infiltración; n=16

Efecto	Vía	Coefficientes	p-valor
ph 15-30	Directa	-0,54	
ph 15-30	cobertura	-0,27	
ph 15-30	densidad	0,17	
ph 15-30	M.O.	-0,05	
r total		-0,69	0,0032
cobertura	Directa	0,42	
cobertura	ph 15-30	0,34	
cobertura	densidad	-0,16	
cobertura	M.O.	0,08	
r total		0,67	0,0044
densidad	Directa	0,24	
densidad	ph 15-30	-0,37	
densidad	cobertura	-0,29	
densidad	M.O.	-0,07	
r total		-0,50	0,0512
M.O.	Directa	0,11	
M.O.	ph 15-30	0,25	
M.O.	cobertura	0,29	
M.O.	densidad	-0,16	
r total		0,49	0,0552

Variable dependiente: ph 15-30; n=16

Efecto	Vía	Coefficientes	p-valor
cob	Directa	-0,42	
cob	M.O.	0,04	
cob	ph 0-15	-0,26	
r total		-0,64	0,0077
M.O.	Directa	0,06	
M.O.	cob	-0,29	
M.O.	ph 0-15	-0,23	
r total		-0,46	0,0710
ph 0-15	Directa	0,29	
ph 0-15	cob	0,38	
ph 0-15	M.O.	-0,04	
r total		0,62	0,0108

Variable dependiente: ph 0-15; n=16

Efecto	Vía	Coefficientes	p-valor
cob	Directa	-0,64	
cob	M.O.	-0,26	
r total		-0,90	<0,0001
M.O.	Directa	-0,38	
M.O.	cob	-0,44	
r total		-0,81	0,0001

Variable dependiente: estabilidad; n=36

<u>Efecto</u>	<u>Vía</u>	<u>Coefficientes</u>	<u>p-valor</u>
cob	Directa	-0,46	
cob	ph 15-30	-2,0E-03	
cob	ph 0-15	0,01	
cob	ras 0-15	-0,03	
cob	ras 15-30	0,01	
r total		-0,47	0,0041
ph 15-30	Directa	3,7E-03	
ph 15-30	cob	0,25	
ph 15-30	ph 0-15	-0,01	
ph 15-30	ras 0-15	0,04	
ph 15-30	ras 15-30	-0,05	
r total		0,24	0,1571
ph 0-15	Directa	-0,01	
ph 0-15	cob	0,26	
ph 0-15	ph 15-30	2,7E-03	
ph 0-15	ras 0-15	0,05	
ph 0-15	ras 15-30	-0,01	
r total		0,30	0,0776
ras 0-15	Directa	0,09	
ras 0-15	cob	0,14	
ras 0-15	ph 15-30	1,8E-03	
ras 0-15	ph 0-15	-0,01	
ras 0-15	ras 15-30	-0,06	
r total		0,17	0,3226
ras 15-30	Directa	-0,18	
ras 15-30	cob	0,04	
ras 15-30	ph 15-30	9,4E-04	
ras 15-30	ph 0-15	-4,5E-04	
ras 15-30	ras 0-15	0,03	
r total		-0,11	0,5274

Variable dependiente: ce 0-15; n=16

<u>Efecto</u>	<u>Vía</u>	<u>Coefficientes</u>	<u>p-valor</u>
cob	Directa	-0,13	
cob	M.O.	-0,41	
r total		-0,54	0,0302
M.O.	Directa	-0,60	
M.O.	cob	-0,09	
r total		-0,69	0,0031

Variable dependiente: ras 0-15; n=16

<u>Efecto</u>	<u>Vía</u>	<u>Coefficientes</u>	<u>p-valor</u>
cob	Directa	0,33	
cob	ce 0-15	-0,13	
cob	M.O.	-0,53	
r total		-0,33	0,2148
ce 0-15	Directa	0,24	
ce 0-15	cob	-0,18	
ce 0-15	M.O.	0,53	

r total		0,59	0,0158
M.O.	Directa	-0,77	
M.O.	cob	0,22	
M.O.	ce 0-15	-0,16	
r total		-0,71	0,0019

Variable dependiente: ras 15-30; n=16

<u>Efecto</u>	<u>Vía</u>	<u>Coeficientes</u>	<u>p-valor</u>
ce 15-30	Directa	0,46	
ce 15-30	ras 0-15	0,01	
r total		0,47	0,0642
ras 0-15	Directa	0,15	
ras 0-15	ce 15-30	0,04	
r total		0,19	0,4814

BIBLIOGRAFÍA

- Agnusdei M.G., Nenning F. R., Di Marco O. N. y Aello M.S. 2009. Variaciones de calidad nutritiva durante el crecimiento vegetativo de gramíneas megatérmicas de diferente porte y longitud foliar (*Chloris gayana* y *Digitaria decumbens*). Rev. Arg. Prod. Anim. 29: 13-25.
- Akhter J., Murray R., Mahmood K., Malik K. A., y Ahmed S. 2004. Improvement of degraded physical properties of a saline-sodic soil by reclamation with kallar grass (*Leptochloa fusca*). Plant Soil 258: 207–216.
- Alconada M., Ansín O.E., Lavado R.S., Deregibus V.A., Rubio G. y Gutiérrez Boem F. H. 1993. Effect of retention of run-off water and grazing on soil and on vegetation of a temperate humid grassland. Agricultural Water Management 23: 233-246.
- Alonso S.I. y Borrajo C.I. 2003. Producción de forraje de Agropiro con dos sistemas de defoliación. 26° Congreso Argentino de Producción Animal, Rev. Arg. Prod. Animal 23: 211-212.
- Álvarez C.R., Tabeada M.A., Gutiérrez Boem F.H., Fernández P.L. y Prystupa P. 2006. Distintos manejos del suelo en la Pampa Ondulada: I. Efecto sobre las propiedades edáficas. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta.
- Anderson, E.R. 1972. Flooding tolerance of *Panicum coloratum*: Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences 29: 173-179.
- Ansín O.E., Oyhamburu E.M., Vecchio M.C., Cordero M.I., Heguy B. y Eirin M.A. 2004. Efecto sobre la estructura y biomasa de un pastizal pastoreado en base a especies guías. Rev. Arg. Prod. Anim. 24: 216-217.
- AOAC. 1984. Official methods of analysis of official analytical chemists. 13th ed. Edit. for Hortwiz. Washington, O. C., USA.
- Ávila R.E., Quiroga, R.E., Ferrando, C. y Blanco L.. 2008. Contenido de proteína bruta de los componentes morfológicos de 4 gramíneas megatérmicas introducidas en el Chaco Árido. Rev. Arg. Prod. Anim. 28: 471-472.
- Baldi G., Guerschman J.P. y Paruelo J.M. 2006. Characterizing fragmentation in temperate South America grasslands. Agriculture, Ecosystems and Environment 116: 197-208.
- Batista W.B., Taboada M.A., Lavado R.S., Perelman S.B. y León R.J.C. 2005. Asociación entre comunidades vegetales y suelos en el pastizal de la Pampa Deprimida. En: La Heterogeneidad de la Vegetación de los Agroecosistemas. Un Homenaje a Rolando León. Eds: M. Oesterheld, M. Aguiar, C. Ghera y J. Paruelo. Editorial de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Berasategui L. y Barberis L. 1982. Los suelos de las comunidades vegetales de la Región de Castelli-Pila, Depresión del Salado (Prov. De Buenos Aires). Rev. Fac. Agr. 3:13-25.
- Blake G. R., y Hartge K. H. 1986. Bulk density. Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Second Edition pp 363-375.
- Borrajo C.I., Barbera P., Bendersky D. y Ramírez M. 2008. Implantación y crecimiento inicial en gramíneas megatérmicas. Revista Argentina de Producción Animal 28: 460.
- Bott W. 1978. Pastures in the Dalby district. Queens. Agric. J., 104: 353-367.
- Boyle M., Frankenberger W.T. y Stolzy L.H. 1989. The influence of organic matter on aggregation and water infiltration. J Prod Agric 2: 290-299.

- Bullock D.G. 1992. Crop rotation. *Crit. Rev. Plant Sci.* 11: 309-326.
- Burkart S.E., Garbulsky M.F., Ghera C.M., Guerschman J.P., León J.C.R., Oesterheld M., Paruelo J.M. y Perelman S.B. 2005. Las comunidades potenciales del pastizal pampeano bonaerense. En: *La Heterogeneidad de la Vegetación de los Agroecosistemas. Un Homenaje a Rolando León*. Eds: M. Oesterheld, M. Aguiar, C. Ghera y J. Paruelo. Editorial de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 430 páginas.
- Caldwell M., Richards M., Johnson J.H.D.A., Nowak R.S. y Dzuree R.S. 1981. Coping with herbivory: Photosynthetic capacity and resource allocation in 2 semiarid Agropyron bunch grasses. *Oecologia* 50: 14-25.
- Caron J., Kay B. D. y Stone J. A. 1992. Improvement of structural stability of a clay loam with drying. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1585-1591.
- Carrillo, J. y Schiersmann, G. (1994). Manejo del Rodeo de cría. Materiales didácticos n°8. CERBAS. EEA Balcarce. 97 p.
- Casas R.R. y Pittaluga A. 1984. Efecto de una pastura de Agropiro bajo clausura en la recuperación de suelos salinizados en el Partido de Carlos Tejedor. INTA; ACINTACNIA; año 1, N° 12. Castelar.
- Castro H., Hein V. Fossati J. y Gaggiotti M. 2001. Evaluación de la producción de materia seca de gramíneas megatermicas en suelos salino sódicos. EEA INTA Rafaela.
- Cauhepé M.A. e Hidalgo L.G. 2005. La Pampa Inundable, el uso ganadero como base de la sustentabilidad social, económica y ambiental. En: *La Heterogeneidad de la Vegetación de los Agroecosistemas. Un Homenaje a Rolando León*. Eds: M. Oesterheld, M. Aguiar, C. Ghera y J. Paruelo. Editorial de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 430 páginas.
- Chagas C.I., Santanatoglia O.J., y Castiglioni M.G. 1995. Tillage and cropping effects on selected properties of an Argiudoll in Argentina. *Commun Soil Sci. Plant Anal.* 26: 643-655.
- Chaneton E.J., Lemcoff J.H. y Lavado R.S. 1996. Nitrogen and phosphorus cycling in grazed and ungrazed plots of a temperate subhumid grassland in Argentina. *Journal of Applied Ecology* 33: 291-302.
- Chenu C., Bissonnais Y. L. y Arrouays D. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1479-1486.
- Christensen N.B., Sisson J.B. y Barnes P.L. 1989. A method for analyzing penetration resistance data. *Soil and Tillage Research* 13: 83-91.
- Clark R.P. y Lugo D.G. 1986. Kleingrass yield and quality under three irrigations regimes when harvested at anthesis. *Agron. J.* 78: 235-239.
- Conterno C., Ricci H. R., Roncedo C. S, Martinez Calsina L. y Pérez H. 2006. Evaluación de variables agronómicas en pasturas megatermicas en la llanura deprimida de Tucumán: III *Chloris gayana* cv Boma. 2006. XXVII Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas. Facultad de Ciencias Agrarias - UNNE
- Cornacchione M.V. 2007. Producción forrajera de gramíneas subtropicales en el sudoeste Santiaguense. *Rev.Arg.Prod.Anim.* 27: 224-225.
- Cornacchione, M.V., Pérez, H.E. y Fumagalli, A.F. 2007. Effect of clipping on the stolon elongation rate and stolon survival of cultivars *Chloris gayana* Kunth in conditions of salinity. *J. Anim. Sci.* 85: 38.
- Costa J. L. y Godz P. 1998. The effects of gypsum applied to a natraquol of the Flooding Pampas of Argentina. *Soil Use and Management* 14: 246-247.
- Damario E. A. y Pascale A. J. 1988. Características agroclimática de la Región Pampeana Argentina. *Revista de Facultad de Agronomía* 9: 41-64.

- Davidson D. T. 1965. Penetrometer measurements. En: C.A. Black (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 1. Agronomy Society of America. Madison, Wisconsin. Páginas: 472-484.
- Deboodt M., DeLeehner L. y Kirkham D. 1961. Soil aggregate stability indexes and crop yields. Soil Sci. 91: 138-146.
- Deifel K. S., Kopittke P.M. y Menzies N.W. 2006. Growth response of various perennial grasses to increasing salinity. Journal of Plant Nutrition 29: 1573 – 1584.
- De León M. 1992. Características de las pasturas que determinan la respuesta animal. Resúmenes. Tercera Jornada de pasturas para el Norte de Córdoba. INTA. Agencia de extensión rural Deán Funes.
- De León M. 1998. Guía Práctica de Ganadería Vacuna. “Bovinos para carne: Regiones NEA-NOA- Semiárida y Patagónica” Tomo II. Bs. As. Ed. INTA.
- De León M. 2004. Ampliando la frontera ganadera. EEA Manfredi. Proyecto Ganadero Regional. Manfredi, Córdoba. 26 págs.
- De León M., Peuser R.A., Boetto C., Luna G. y Bulashevich M.C. 1995. Efecto del genotipo y la frecuencia de defoliación sobre la producción de materia seca en gramíneas megatermicas cultivadas. Revista Argentina de Producción Animal. 15: 226-228.
- Deregibus V.A., Sánchez R.A., Casal J.J., y Trilca M.J. 1985. Tillering responses to enrichment of red light beneath the canopy in a humid natural grassland. J. Appl. Ecol. 22: 199-206.
- Duran García H.M. 2002. Effect of the moisture content on the mechanical resistance of a loam textured soil. Terra Latinoamericana 20: 227-234.
- Dyer M. I. 1975. The effects of red-winged blackbirds (*Agelaius phoeniceus* L.) on biomass production of corn grains (*Zea mays* L.). J. Appl. Ecol. 12: 719-726.
- Dyer M. I., Acra M.A., Wang G.M., Coleman D.C., Freckman D. W., McNaughton S.J. y Strain B. R. 1991. Source- Sink Carbon relations in two *Panicum Coloratum* ecotypes in response to herbivory. Ecology 72: 1472-1483.
- Ehleringer J. R., Cerling T.E. y Helliker E.R. 1997. C4 photosynthesis, atmospheric CO2 and climate. Oecología 112: 285-299.
- Elkins C.B., Haaland R.L. y Hoveland C.S. 1977. Grass root as a tool for penetrating soil hardpans and increasing crop yields. En: Proceedings of the 34 th southern pasture and forage crop improvement conference, 12-14 April 1977, Auburn, Ala: 21-26.
- Escobar J. M. 1995. Descripción de la preferencia de bovinos por las comunidades vegetales en un pastizal de la depresión del Salado. Tesis, M.Sc. Unidad Integrada Balcarce (FCA/EEA Balcarce, INTA). 89 págs.
- Escobar-Hernández A. T., Dieguez E., García-Hernández J. L., Hernández-Contreras H., Murillo-Amador B., y López-Aguilar R. 2005. Potencial forrajero del pasto salado *Distichlis spicata* L. (Greene) en ecosistemas costeros de Baja California Sur, México por el método de componentes principales. Técnica Pecuaria en México, enero-abril: 13-25.
- Etchevehere P. 1961. Bosquejo de regiones geomorfológicas y de drenaje de la República Argentina. IDIA 162: 7-25.
- Fernández O.N., Pereira M., Agnusdei M.G., Colabelli M. y Vignolio O.R. 2008. Degradación de pastizales asociada a la promoción de raigrás en la Pampa Deprimida. 31 Congreso Argentino de Producción Animal. Potrero de los Funes, San Luis, vol 28: 395-396.

- Ferrando C., Berone G. y Namur P. 2005. Producción forrajera de 4 especies megatérmicas sometidas a distintas intensidades y frecuencias de defoliación. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 25: 207-208.
- Ferri C.M. y Jouve V.V. 2008. Relaciones entre la concentración de N y la forrajimasa acumulada en *Panicum coloratum* L. *Revista Argentina de Producción Animal* 28: 349-543.
- Ferri C. M., Brizuela M. A., Cid M. S. y Stritzler N. P. 2006. Dinámica de acumulación de láminas foliares y estructura del forraje diferido de *Panicum coloratum* L. *Agric. Téc.* 66: 376-384.
- Ghaly F.M. 2002. Role of natural vegetation in improving salt affected soil in northern Egypt. *Soil Hill Res.* 64: 173-178.
- Ginzo H.D., Collantes M.B. y Caso H.O. 1986. Fertilization of a halophytic natural grassland in Argentina: herbage dry matter, botanical composition, and mineral content. *Turrialba* 36: 453-459.
- Gliessman S.R. 1998. *Agroecology. Ecological processes in sustainable agriculture.* Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, U.S.A.
- Grant C.A. y Lafond G. P. 1993. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on clay soil in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 73: 223-232.
- Grime J.P. 1977. Evidence for existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist* 111: 1169-1194.
- Gudelj O., y Masiero B. 2000. Efecto del manejo del suelo sobre su estabilidad estructural. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata. Actas en CD.
- Gumbs F. A. y Warkentin B. P. 1972. The effect of bulk density and initial water content on infiltration in clay soil samples. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 36: 720-724.
- Gupta R.K. y Abrol I.P. 1990. Salt-affected soils: their reclamation and management for crop production. *Adv. Soil Sci.* 11: 223-228.
- Guzmán L. P., Ortega A. R., Juárez V. P. y Sortheix J. 1988. Adaptación de forrajeras perennes introducidas en Tucumán (Argentina). *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 65: 195- 212.
- Haffar I. y Alhadrami G. 1997. Effect of various bale treatments on physical quality and chemical composition of Rhodes grass (*Chloris gayana*) hay. *Grass and Forage Science* 52: 199-206.
- Haynes R. J. y Francis G. S. 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *J. Soil Sci.* 44: 665-675.
- Hidalgo L.G. y Cauhepé M.A. 1991. Producción de forraje de las comunidades de la Depresión del Salado. *Revista de AACREA.* 149: 58-62.
- Hidalgo L. G., Cauhepé M.A. y Erni A.N. 1998. Digestibilidad y contenido de proteína bruta en especies de pastizal de la Pampa Deprimida. Argentina. *Revista de Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animales* 13: 165-177.
- Hidalgo L.G., Cauhepé M.A. y Rimoldi P.O. 1989. Productividad primaria de una pastura de agropiro (*Elytrigia elongata*) y de una comunidad de pastizal natural, en condición similar de ambiente y manejo. *Revista Argentina de Producción Animal. Suplemento 9:* 39 - 40.
- Huarte H.R. y García M.D. 2008. Producción de biomasa de forrajeras perennes megatérmicas durante la implantación en Llavallol (Buenos Aires). *Revista Argentina de Producción Animal* 28: 349-543.

- Humphreys L.R. 1972. Tropical pasture science training course for S.E. Asia. Coll. Agric. Malaya.
- Hunt E. R. y Nobel P.S. 1987. Allometric root/shoot relationships and predicted water uptake for desert succulents. *Ann. Bot.* 59: 571-577.
- Hyder D.N., Everson A.C. y Bement R.E. 1971. Seeding morphology and seedling failures with blue grama. *J. Range Manage.* 24: 287-292.
- Ilyas, M., Miller, R. W., and Qureshi, R. H. (1993). Hydraulic conductivity of saline-sodic soil after gypsum application and cropping. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 1580–1585.
- Imaz J.A., Pisonero S. y Giménez D.O. 2008. Sobrevivencia y crecimiento de matas de grama Rhodes después de períodos de inundación. XIII Reunión Latinoamericana. XXVII Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. PVII 226
- INFOSTAT 2007. InfoStat versión 2007. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- I.N.T.A. (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina I, Bs. As. páginas: 83-202.
- Irigoyen A., y Giambiagi N. 1990. Aspectos microbiológicos de un natracualf. Efecto del agropiro. *Ciencia del Suelo*. Vol. 8 N° 2.
- Ivory, D.A. y Whiteman, P.C. 1978. Effects of environment and plant factors on foliar freezing resistance in tropical grasses. II Comparison of frost resistance between cultivars of *Cenchrus ciliaris*, *Chloris gayana* and *Setaria anceps* Part I, *Aust. J. Agric. Res.*, 29: 261-266.
- Jacobo E., Rodríguez A., Vilarino J. y Zanduetta J. 2007. El rejuvenecimiento con glifosato deteriora la vegetación del pastizal natural de la Pampa Deprimida. El caso de la comunidad B3. IV Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales. Villa Mercedes, San Luis, Argentina. Pp 7.
- Jones R.M. 1969. Mortality of some tropical grasses and legumes following frosting in the first winter after sowing. *Tropical Grasslands* 1: 57-63.
- Kaur B., Gupta S.R. y Singh G. 2002. Bioamelioration of a sodic soil by silvopastoral systems in northwestern India. *Agroforest Syst.* 54: 13-20.
- Kladvko E. J. 1994. Residue effects on soil physical properties. En: Paul Unger (Ed.) *Managing Agricultural Residues*. Lewis Publishers, Páginas: 123-142.
- Kovacs G. 1983. General principles of flat land hidrology. *Hidrología de Grandes Llanuras*. Actas del Coloquio de Olavarría.
- Lavado R.S. y Taboada M.A. 1987. Soil salinization as an effect of grazing in a native grassland soil. *Soil an Management* 3: 143-148.
- Lavado R.S. y Taboada M.A. 1988. Soil water, salts, and sodium dynamics in a Natraquoll of Argentina. *Catena* 15: 577-594.
- Lavado R.S., Rubio G. y Alconada M. 1992. Grazing management and soil salinization in natraqualfs. *Turrialba* 42:500-508
- Lemcoff, J.H. 1992. Río de la Plata Grasslands: Climate., En: R.T. Coupland (ed): *Ecosystems of the World 8A. Natural Grasslands*. Elsevier, Amsterdam. Páginas 367-407.
- León R. J. C. 1992. Río de la Plata Grasslands. En: *Ecosystems of the World. 8 A. Natural Grasslands. Introduction and western hemisphere*. Coupland, R.T.
- Linn D.M. y Doran J.W. 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 1267-1272.
- Luters, A. y Salazar, J.C. 1999. USDA. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica,

Departamento de Agricultura, Servicio de Investigación Agrícola Servicio de Conservación de Recursos Naturales e Instituto de Calidad de Suelos.

- Maresca S. 2010. Presente y futuro en la Cuenca. Revista Ida y Vuelta Rural. Ediciones INTA 27: 14-15.
- McNaughton S. J. 1979. Grazing as an Optimization Process: Grass-Ungulate relationships in the Serengeti. *The American Naturalist* 113: 691-703.
- McNaughton S.J. 1983. Compensatory plant growth as a response to herbivory. *Oikos* 40: 329-336.
- McNaughton S.J. 1984. Grazing lawns: Animals in herds, plant form and coevolution. *Am.Nat.* 124: 863-886.
- McNaughton S.J. y Chapin F.S. 1985. Effects of phosphorous nutrition and defoliation on C4 graminoid from Serengeti plains. *Ecology* 66: 1617-1629.
- McNaughton S., Banyikwa F. y McNaughton M. 1997. Promotion of the cycling of diethenhancing nutrients by African grazers. *Science* 278: 1798-1800.
- Meek B. D., DeTar W. R., Rolph D., Rechel E. R. y Carter L. M. 1990. Infiltration rate as affected by an alfalfa and no-till cotton cropping system. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 54: 505-508.
- Mendoza R.E y Barberis L.A. 1980. Efecto del agregado de yeso y el lavado a un suelo sódico de la depresión del Río Salado y su repercusión sobre la producción de "Lolium perenne" L. *RIA* 2: 397-304.
- Mielke L.N., Doran J.W. y Richards K.A. 1986. Physical environment near the surface of ploughed and no-tilled soils. *Soil Tillage Res.* 7: 355-366.
- Milchunas D. G. y Lauenroth W. K. 1993. Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments. *Ecological Monographs* 63: 327-366.
- Mishra A. y Sharma S. D. 2003. Leguminous trees for the restoration of degraded sodio wasteland in the eastern Uttar Pradesh, India. *Land Degrad. Dev.* 14: 245-261.
- Montani N., Alcantú G. y Rosa M.J. 2002. Influencia de diferentes frecuencias de corte en la producción y la calidad del forraje de *Distichlis spicata*. *AAPA*: 11.
- Monti M., Delgado G., Dupuy J. y Oyarzabal M.I. 2009. Introducción de especies forrajeras megatérmicas en los sistemas de producción ganaderos del sur de la provincia de Santa Fe-Argentina. Congreso de Forrajeras Megatermicas en Zonas Templadas, Melincué, Santa Fé.
- Moore G., Albertsen T., van Gool D. y Titterington J. 2006. Poor persistence of sub-tropical grasses over winter. "Groundbreaking Stuff". Edited by Neil Turner and Tina Acuna. Proceedings of the 13th Australian Agronomy Conference. 10-14 September 2006 Perth, Western Australia.
- Nada Y. 1980. Photoperiodic responses in flowering of main tropical pasture grasses. *J. Japan. Grassl. Sci.* 26: 157-164.
- Nazca J.A. 2006. Producción sostenible de carne bovina con pastures tropicales en la Llanura Deprimida Salina de Tucumán. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía y Zootecnia UNT.
- Nielsen K. L., Eshel A. y Lynch J. P. 2001. The effect of P availability on the carbon economy of contrasting common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *J. Exp. Bot.* 52: 329-339.
- Noble, A. D., and Nelson, P. 2000. Sustainability of Stylosanthes Based Pasture Systems in Northern Australia: Managing Soil Acidity. Final Report on Project NAP3. 218. Meat and Livestock Australia, Sydney, Australia.

- NRC. 1973. Necesidades nutritivas del ganado vacuno de carne (National Research Council). Consejo Nacional de Investigaciones. 1°ed. Editorial Hemisferio Sur, S.A. 77 p.
- Oesterheld M. y McNaughton S.J. 1988. Intraspecific variation on the response of *Themenda triandra* to defoliation: the effect of time of recovery and growth rates on compensatory growth. *Oecologia* 77: 181-186.
- Oesterheld M. y McNaughton S.J. 1991. Effect of stress and time for recovery on the amount of compensatory growth after grazing. *Oecologia* 85: 305-313.
- Oesterheld, M., Sala, O.E., y McNaughton, S.J. (1992). Effect of animal husbandry on herbivore-carrying capacity at a regional scale. *Nature*, 356.
- Olsen H.W. 1960. Hydraulic flow through saturated clays. *Clays Clay Miner.* 9: 131-161.
- Oster J.D., Shainberg I., y Abrol I.P. 1999. Reclamation of salt affected soils. En: R W Skaggs and J Van Schilfgaarde Eds. *Agricultural Drainage*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. Páginas 659-691.
- Otondo J. 2010. Las megatérmicas y sus resultados en la región pampeana. *Actas del IV Congreso Nacional de Conservación y Uso de forrajes*. Páginas 21-25.
- Otondo, J., Cichino, M.A. y Melani, E.M. 2011. Experiencias con megatérmicas en bajos alcalinos de la Cuenca del Salado. *Planteos Ganaderos*. Aapresid. ISSN 1850-0633. Pág. 77-80
- Paruelo J.M., Lauenroth W.K., Burke I.C. y Sala O.E. 1999. Grassland precipitation use efficiency across a resource gradient. *Ecosystems* 2: 64-69.
- Perelman S.B., Leon R. J. C. y Oesterheld M. 2001 Cross-scale vegetation patterns of Flooding Pampa grasslands. *Journal of Ecology*. 89: 562-577.
- Pérez H. E., Taleisnik E., Bravo S. J., García Seffino L. y Orellana D. 1998. Respuesta a la salinidad de cultivares de grama Rhodes: I Componentes del Rendimiento. *Revista Argentina de Producción Animal* 18: 185-186.
- Perfect E., Kay B. D., Van Loon W. K. P., Sheard R. W. y Pojasok T. 1990. Factors influencing soil structural stability within a growing season. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 173-179.
- Petruzzi H.J., Stritzler N.P., Adema E.O., Ferri C.M y Pagella J.H. 2003. Mijo Perenne. *Publicación Técnica N° 51*, EEA Guillermo Covas, INTA Anguil.
- Phillips R E. 1984. Soil moisture. En: Phillips, R.E y S.H. Phillips Eds. *No-tillage agriculture. Principles and practices*. Van Nostrand Reinhold Co., New York, USA. Páginas 66-86.
- Qadir M. y Oster J.D. 2002. Vegetative bioremediation of calcareous sodium soils: history, mechanisms, and evaluation. *Irrig Sci.* 21: 91-101.
- Qadir M., Oster J.D., Schubert S., Noble A.D. y Sahrawat K.L. 2007. Phytoremediation of sodic and saline sodic soils. *Advances in Agronomy* 96: 197-247.
- Qadir M., Qureshi R. H. y Ahmad N. 1996. Reclamation of a saline-sodic soil by gypsum and *Leptochloa fusca*. *Geoderma* 74: 207-217.
- Radrizzani A., Renolfi R.F. y Gersicich M.A. 2005. Producción de forraje y persistencia de pasturas tropicales en el Chaco Serrano. *Publicaciones INTA EEA Santiago del Estero*
- Recavarren P. y Martinefsky M. J. 2009. Alerta Amarillo: La degradación de los recursos forrajeros en la Depresión de Laprida. Proyecto Regional Ganadero BASUR 02. Contribución al incremento sustentable de la productividad ganadera. <http://www.intabalcarce.org/PRGanadero/articulos/DegradacionPastizales2009.pdf>.

- Rengasamy P. y Olsson K.A. 1991. Sodicity and soil structure. *Aust. J. Soil Res.* 29: 935-952.
- Rengasamy P. y Summer M.E. 1998. Proceses involved in sodio behaviour. En: *Sodio soils: distribution management and environmental consequences*. M E Summer and R Naidu Eds. Oxford University Press, New York. Páginas 35-50.
- Renolfi R.F., Gómez A.T., Radrizani A. y Gersicich M.A. 2007b. Producción de materia seca aérea de gramíneas tropicales en el sitio ladera norte del Chaco Serrano. *Revista Argentina de Producción Animal* 27 Supl. 1.
- Renolfi R.F., Perotti M., Gómez A.T. y Gerlero G. 2007a. Producción de biomasa aérea seca de gramíneas megatérmicas en el sitio “gramilla” del sudeste santiagueño. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 27 (Sup.1): 230-231.
- Rhoades J.D. 1982. Soluble salts. En: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (Eds.). *Methods of Soil Analysis, Part 2*. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. páginas 167-179
- Ribotta A.N., Griffa S., López Colomba E., Grunberg K. y Biderbost E. 2005. Determinación del contenido proteínico en materiales seleccionados de *Cenchrus ciliaris* L., *Chloris gayana* K. y *Panicum coloratum* L. *Pastos y Forrajes* 28: 241-246.
- Ricci H. R. y Guzmán L. P. 1992. Efecto de la fecha de rezago sobre la producción de materia seca, disponibilidad y calidad invernal del diferido de grama Rhodes cv. Tuc La Oriental (*Chloris gayana* Kunth). *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 69: 1-5.
- Ricci H., Guzmán P., Pérez P., Juárez V. y Díaz A. 1997. Producción de materia seca de siete gramíneas tropicales bajo tres frecuencias de corte. CIAT. Cali. Colombia. *Pasturas Tropicales* 19: 45-49.
- Ricci H. R., Pérez P. G., Albarracín V. y Toranzos M.R. 2000. Grama Rhodes (*Chloris gayana* Kunth, cv común) diferida. Fecha de rezago y producción de materia seca. Trabajo presentado ante la XVI Reunión Latinoamericana de Producción Animal. Montevideo.
- Ricci H. R. y Toranzos M.R. 2004. Índice de calidad de cuatro gramíneas tropicales en cuatro estados fenológicos. Congreso AAPA. PP 3
- Robbins C. W. 1986. Sodic calcareous soil reclamation as affected by different amendments and crops. *Agron. J.* 78: 916-920.
- Rodríguez A., Jacobo E. J., Vilarino J. y Zanduetta J. 2007. El rejuvenecimiento con glifosato deteriora la vegetación del pastizal natural de la Pampa Deprimida. El caso de la comunidad B1. IV Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales. Villa Mercedes, San Luis, Argentina. Pp 6.
- Rohweder D.A., Barnes R.F. y Jorgensen N. 1978. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *J. Anim. Sci.* 47: 747-759.
- Russell J.S. 1976. Comparative salt tolerance of some tropical and temperate legumes and tropical grasses. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 16: 103-109.
- Russell, S.J. y Webb, H.R. 1976. Climatic ranges of grasses and legumes used in pastures. Result of a survey conducted at the 11 th International Grassland Congress. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 42:156-163.
- Sala O. E., Deregibus V.A., Schlichter T. y Alippe H. 1981. Productivity dynamics of a native temperate grassland in Argentina. *Journal of Range Management* 34: 48-51.

- Sala J. M., González N., y Hernández M. 1978. Efectos de una barrera hidráulica natural en las aguas subterráneas de la Bahía del Samborombón. *Obra Centenario del Museo de La Plata* 4: 153-166.
- Sala O.E., Oesterheld M., León R.J.C. y Soriano A. 1986. Grazing effect upon plant community structure in subhumid grasslands of Argentina. *Vegetatio* 67: 27-32.
- Sala O. E., Parton W. J. Joyce L. A. y Lauenroth W. K. 1988. Primary Production of the Central Grassland Region of the United States. *Ecology* 69: 40-45.
- Sánchez R.O., Ferrer J.A., Duymovich O.A. y Hurtado M.A. 1976. Estudio pedológico integral de los partidos de Magdalena y Brandsen. *Anales del LEMIT*: 1-127.
- Semple W.S., Cole I.A. y Koen T.B. 2003. Performance of some perennial grasses on severely salinized sites on the inland slopes of New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43: 357-371.
- Singh J.H., Lauenroth W.K. y Steinhorst R.K. 1975. Review and assessment of various techniques for estimating net aerial primary production in grasslands from harvest data. *Botanical Review* 41: 181-232.
- Soil Survey Staff. 1993. Soil survey manual. United State Department of Agriculture. Hnbk no. 18. U.S. gov. Printing Office, Washington, DC.
- Soriano A. 1991. Río de la Plata Grasslands. En: R.T. Coupland (Ed.). *Ecosystems of the World 8A. Natural Grasslands. Introduction and Western Hemisphere*. Elsevier, New York. Páginas 367-407.
- Stritzler N.P., Pagella J.H., Jouve V.V., y Ferri C.M. 1996. Semi-arid warm-season grass yield and nutritive value in Argentina. *Journal of Range Management* 49: 121-125.
- Taboada, M. A. y Álvarez, C. R. 2008. *Fertilidad Física de los Suelos*. 2da. Edición. Universidad de Buenos Aires, 272 p. ISBN 978-950-29-1074-1.
- Taboada M. A. y Lavado R. S. 1986. Características del régimen ácuico de un Natracuol de la Pampa Deprimida. *Ciencia del Suelo* 4: 66-71.
- Taboada M. A. y Lavado R.S. 2003. Inundaciones. Consecuencias sobre los suelos. Cuando el agua se retira. *Encrucijadas UBA*, 21: 28 -37.
- Taboada M.A., Rubio G. y Lavado R.S. 1998. The deterioration of tall wheatgrass pastures on saline sodic soils. *Journal of Range Management* 51: 239-244.
- Tarumoto, I. y Mochizuki, N. 1979. The influence of temperature during ripening period on seed fertility in Rhodesgrass cultivars. *Bulletin National Grassland Research Institute Japan* 14: 86-88.
- Taylor H.M. y Brar G.S. 1991. Effect of soil compactation on root development. *Soil and Tillage Research* 19: 111-119.
- Tischler C. R. y Ocumpaugh W. R. 2004. Kleingrass, Blue Panic, and Vine Mesquite. En: Moser, L E et al. (Ed.) *Warm - Season (C4) Grasses*. Madison, WI, ASA, CSSA, and SSSA, páginas 623-649.
- Tisdall J. M. 1991. Fungal Hyphae and structural stability of soil. *Aust. J. Soil. Res.* 29: 729-743.
- Tisdall J.M. y Adem H. H. 1986. Effect of water content of soil at tillage on size-distribution of agregates and infiltration. *Aust. J. Exp. Agric.* 26: 193-195.
- 't Mannetje T. y Kersten S.M.M. 1992. *Chloris gayana* Kunth. En: 't Mannetje, L. & Jones, R.M. (Eds): *Plant Resources of South-East Asia No 4. Forages*. Pudoc-DLO, Wageningen, the Netherlands. Páginas 90-92.
- Toft N.L., McNaughton S.J. y Georgiadis N.J. 1987. Effects of water stress and simulated grazing on leaf elongation and water relations of an East African grass, *Eustachys paspaloides*. *Australian Journal of Plant Physiology* 14: 211-226.

- Tommasone, F. 1997. Rejuvenecimiento y siembra directa de praderas y verdes de invierno. Ed. Hemisferio Sur.
- Troughton A. 1977. Relationship between the root and shoot systems of grasses. En: The Belowground Ecosystem a Synthesis of Plant Associated Processes. J. K. Marshall (Ed.). Range Science Dept., Science Series No. 26. Colorado State University, Fort Collins. Páginas 39-51.
- Unger P.W. 1997. Aggregate and organic carbon concentration interrelationships of Torric Paleustoll. Soil Tillage Res. 42: 95-113.
- Van Soest P.J., Robertson J.B. y Lewis B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74: 3583-3597.
- Vázquez M., Berasategui L., Chamorro E., Taquini L. y Barberis L. 1990. Evolución de la estabilidad estructural y diferentes propiedades químicas según el uso de los suelos en tres áreas de la pradera pampeana. Ciencia del Suelo 8: 203-210.
- Vázquez P., Rojas M. del C. y Burges J. C. 2008. Caracterización y tendencias de la ganadería bovina en la Cuenca del Salado. Revista Veterinaria Argentina. Vol. 25: 572 -584.
- Vecchio M.C., Golluscio R.A., y Cordero M.I. 2008. Cálculo de la receptividad ganadera a escala de potrero en pastizales de la Pampa Deprimida. Ecología Austral 18: 213-222.
- Vecchio, C.; Rodriguez, A.; Tabeada, M.A. y Golluscio, R. 2009. Mejoramiento del suelo por cambios en el uso pastoril de una estepa de halófitas del norte de la Pampa Deprimida. V Congreso Nacional sobre manejo de pastizales. Corrientes. Resúmenes: 222.
- Vervoort F.B. 1967. Las comunidades vegetales de la Depresión del Salado (Prov. De Buenos Aires). Serie Fitogeográfica 7. INTA. Buenos Aires.
- Voigt P.W., Tischler C.R. y Young B.A. 1987. Selection for improved establishment in warm-season grasses. En: G.W. Frasier and R.A. Evans (Ed.) Proceedings of Symposium "Seed and Seedbed Ecology of Rangeland Plants". USDA-ARS. Páginas 177-187.
- Walkley A. y Black I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Sci. 63: 251-263.
- Wallace L.L., McNaughton S.J., Coughenour M.B. 1984. Compensatory photosynthetic responses of three African graminoids to different fertilization, watering, and clipping regimes. Botanical Gazette 145: 151-156.
- Wehr J.B., So H.B., Menzies N.W. y Fulton I. 2005. Hydraulic properties of layered soils influence survival of Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunth.) during water stress. Plant and Soil 270: 287-297.
- Willat S.T. 1987. Influence of aggregates size and water content on compactability of soil using short-time. Journal of Agricultural Engineering Research 37: 107-115.
- Yang, C., Guo W. y Shi D. 2001 Physiological Roles of Organic Acids in Alkali-Tolerance of the Alkali-Tolerant Halophyte Agron. J. 2010 102: 1081-1089.