Universidad Nacional de La Plata

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

TRABAJO FINAL DE CARRERA.

Modalidad: Investigación en campo de las Ciencias Agrarias.

VARIABILIDAD DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON LA ESPECIE INSTALADA.

Estudiante: Mainero, Paula Magalí

DNI: 38434507

N° legajo: 27125/8

Correo: paulamagali@live.com.ar

Director: Ing. Agr. Víctor R.A. Bolaños

Codirectora: Ing. Agr. Andrea E. Pellegrini

FECHA DE ENTREGA: JUNIO DE 2022

ÍNDICE

Resumen---------- 3

Introducción---------- 4

Metodología---------- 7

Resultados ---------- 11

Discusión ---------- 16

Conclusiones ---------- 20

Bibliografía---------- 21

Anexo ---------- 24

RESUMEN

Se evaluaron propiedades químicas del suelo a escala micrositio en tres estepas de halófitas con diferente nivel de cobertura: Estepa Cobertura Baja (ECB), Media (ECM) y Alta (ECA). Se tomaron muestras de suelo seleccionando dentro de cada estepa tres micrositios distintos, uno corresponde a suelo desnudo y los otros dos a las especies predominantes, según el caso fue: *Sporobolus pyramidatus, Distichlis scoparia* y/o *Stapfochloa berroi*. En laboratorio se determinó pH actual, relación de adsorción de sodio (RAS), conductividad eléctrica (CE), nitrógeno total (Nt), carbono orgánico total (COT) y cantidad de raíces. En la ECB, los mejores valores de las variables edáficas fueron para el micrositio de *S. pyramidatus*. El porte y la morfología de esta especie pueden en parte, explicar los resultados obtenidos. En la ECM los mejores valores se obtuvieron para el micrositio de *S. berroi.*, diferenciándose contundentemente del suelo desnudo, en tanto, el ocupado por *D. scoparia* se asemejó al de suelo desnudo. El aumento de la presencia de *S. berroi* se corresponde con aumentos en la productividad primaria neta aérea, el carbono orgánico del suelo y disminución de la alcalinidad. En la ECA todos los valores de las variables resultaron mejores en los micrositios de *S. berroi.* Pero a diferencia de la ECM, en ECA no hubo diferenciación clara entre micrositios especie específico. Se interpreta un posible enmascarado por superposición de nichos entre especies que dificulta hallar diferencias entre el micrositio especie específico, pero si con el suelo desnudo. Se concluyó que existe variabilidad en las propiedades químicas del suelo a escala micrositio y que la variabilidad química del suelo y el contenido de raíces están relacionados con la especie que ocupa el micrositio.

INTRODUCCIÓN

El pastizal natural de la Pampa Deprimida es uno de los relictos de pastizal más importantes del mundo, con una superficie de 90.000 km^2 en el centro y este de la provincia de Buenos Aires (Herrera et al., 2014). Como bioma natural (no cultivado o correspondiente a etapas sucesionales muy alejadas del cultivo) alberga ambientes con estructuras dinámicas y particulares que se traducen en el suministro de bienes y servicios ecosistémicos de diversa índole; y que, sustentan y aportan beneficios para la vida humana (Daily, 1997; Hassan et al., 2005). Los distintos ambientes que se pueden encontrar dentro del pastizal de la Pampa Deprimida se corresponden con grupos de vegetación establecidos en función de la posición topográfica y atributos de salinidad e hidromorfismo del suelo. Se distinguen así cuatro ambientes, que se distribuyen en el paisaje formando una matriz en mosaico bien diferenciados en un relieve casi plano (Burkart et al., 2005).

La pradera de mesófitas se restringiría a las posiciones más elevadas con suelos de textura franca, asociado a Argiudoles y Hapludoles, entre otros. La vegetación natural es reemplazada por cultivos anuales o pasturas perennes, algunas especies características del ambiente son las Flechillas (*Stipa trichotoma Nees, Stipa neesiana L)*, Tembladerilla (*Briza subaristata Lam*) y Plumerillo blanco (*Bothriochloa laguroides*). En la posición inmediata del relieve, corresponden las áreas planas y extendidas, se desarrolla la pradera húmeda de mesófitas. Es un ambiente que tiene algunas limitaciones en el drenaje y rasgos de sodicidad en horizontes subsuperficiales (Berasategui y Barberis, 1982). Los suelos típicos son Natracuoles, Natralboles, Natrudoles, Hapludoles tapto-nátricos y Duracuoles nátricos. Su vegetación es sumamente rica en especies y de diversos grupos funcionales, algunas representativas son *Danthonia montevidensis, Mentha pulegium, Chaetotropis elongata, Sporobolus indicus, Trifolium repens, Lolium multiflorum, Ambrosia tenuifolia y Stipas.* Las cubetas de deflación del relieve corresponden a la pradera de hidrófitas, los suelos presentan rasgos de hidromorfismo, pero sin rasgos de sodicidad superficial o subsuperficial. Los suelos son del grupo de los Argiacuoles, Argialboles, Calciacuoles y Udifluvents y las especies hidrófilas como *Paspalidium paludivagum, Leersia hexandra* y del grupo de Juncáceas y

Cyperáceas. Por último, la estepa de halófitas asociada a áreas planas, tendidas, y que corresponde a suelos con alto nivel de sodicidad y/o salinidad desde la superficie como Alfisoles (Natracualfes, Natrudalfes, Fragiacualfes, Natrustalfes, entre otros). Su vegetación es dominada por especies halófitas como las del género *Distichlis sp*, *Sporobolus sp, Stapfochloa sp* y otras acompañantes, generalmente anuales, como *Hordeum sp, Puccinelia sp, Pappophorum sp, Spergula sp., Lepidium sp., Acicarpha sp, Heliotropium sp,* y *Limonium sp.*

Las especies vegetales presentes en una comunidad vegetal son una expresión del ambiente y sus características edafoclimáticas, como también una consecuencia del manejo pastoril implementado. Cada especie posee requerimientos mínimos y/o tolerancias máximas de una infinidad de factores ambientales y la presencia de esa especie en la vegetación puede ser utilizada para inferir características del ambiente (Burkart et al., 2005) y/o su grado de deterioro (Vecchio et al., 2019). La historia pastoril (en términos de presión de pastoreo) de la comunidad y el grado de resistencia al pastoreo de cada especie (nivel de tolerancia o evasión) también definen en gran medida la composición florística en términos de dominantes/acompañantes o la pérdida de especies de la comunidad. El agrupamiento de las especies según su comportamiento frente al pastoreo es habitual sobre todo cuando el estudio se centra sobre los efectos del pastoreo como consecuencia del cambio en la composición florística (Shaltout et al., 1996, Garibaldi et al., 2007). En la estepa de halófitas, *Distichlis scoparia*, *D. spicata* y *Sporobolus pyramidatus* responden de manera positiva, en tanto, *Stapfochloa berroi* y *Sporobolus indicus* responden negativamente al pastoreo continuo (Vecchio et al., 2019).

La historia de pastoreo en la estepa de halófitas genera cambios cualicuantitativos en la estructura de la vegetación y en las propiedades físicas y químicas del suelo. La escala de análisis es un factor clave a la hora de analizar los efectos del pastoreo del ganado doméstico; por ejemplo, a escala paisaje, se evidenció la simplificación del canopeo uniformando el estrato (sea por atomización de matas y/o desaparición de especies semi arbustivas); viéndose disminuida la diversidad de especies entre ambientes y por tal, resultando en una homogeneización del paisaje (Sala et al., 1986). Mientras

que, a nivel de comunidad, los efectos fueron de aumento de la diversidad puntual de especies, por la invasión de latifoliadas nativas (Insausti et al., 1995) y fundamentalmente de exóticas (León et al., 1984; Oesterheld y Sala, 1990). En la estepa de halófitas, el efecto del pastoreo continuo ha provocado la disminución de la cobertura del suelo tanto de broza como vegetal (Vecchio et al., 2019), pudiendo asociarse a ello un incremento de temperatura y evaporación de agua haciendo dominante el flujo vertical ascendente de agua en el suelo (Lavado y Taboada 1987). Procesos que favorecen la salinización en superficie por ascenso capilar de sales desde profundidad a superficie (Taboada y Lavado, 1988; Taboada, 2005).

En ambientes frágiles como la estepa de halófitas, con horizonte superficial pobre en materia orgánica, es de importancia el nivel de cobertura en términos cuantitativos y en gran medida, se desconoce los efectos en términos cualitativos (efecto especie específico). En este sentido, se han evidenciado mejoras en las propiedades físicas y químicas del suelo en estepas de halófitas en las que se ha modificado la composición florística por reemplazo (Otondo, 2011) o por manejo del pastoreo (Vecchio et al., 2018). El proceso de mejora es explicado, principalmente, por cambios en las condiciones microambientales en la superficie del suelo que favorecen los procesos de infiltración y de humificación de la materia orgánica, a nivel de la rizósfera, sumado al mayor volumen de raíces que promueve cambios estructurales en el suelo como la creación de macroporos y grietas que disminuyen la densidad aparente y actuarían de salvoconductos que potencialmente permiten la migración del Na^+ a zonas más profundas del perfil (Elkins et al., 1977, Qadir et al., 2007). Si bien se han identificado los cambios estructurales y funcionales en la vegetación y el suelo ocurridos en la estepa de halófitas producto del pastoreo de ganado doméstico, se desconoce hasta el momento si existe alguna relación específica entre los cambios ocurridos en la vegetación (a nivel planta individual) y suelo (sobre propiedades químicas). Dicha información resultaría de interés ecológico para poder entender el tipo de relación entre los cambios ocurridos en la estructura de la vegetación y las propiedades químicas del suelo. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar a escala micrositio la variabilidad de las propiedades químicas del

suelo y en qué medida dicha variabilidad se relaciona con la especie instalada en una estepa de halófitas. El experimento es una repetición de otro realizado en el año 2017 y que se concretó con nueva toma de muestra en el año 2020 a fin de contar con una serie de mediciones escalonadas en el tiempo.

El objetivo planteado se abordó bajo las siguientes hipótesis:
$H_{1:}$ En la estepa de halófitas hay variabilidad en las propiedades químicas del suelo (pH, relación de absorción de sodio, conductividad eléctrica, nitrógeno total, contenido de carbono orgánico total) a escala micrositio asociado a una especie.

$H_{2:}$ En la estepa de halófitas hay variabilidad en el contenido de raíces a escala micrositio de la especie vegetal.

MATERIALES Y METODO

Sitios de estudio

El experimento se llevó a cabo en tres estepas de halófitas, ubicadas al noreste de la Pampa Deprimida, Partido de Magdalena, Provincia de Buenos Aires. Las tres estepas se desarrollan sobre *Natracualf típico*. Su elección se hizo en función a dos relaciones respecto a la cobertura del ambiente. La primera relación responde a la cantidad de cobertura vegetal presente en relación con el suelo desnudo, en este sentido se considera la relación 1) [cobertura total presente (%)] / [suelo desnudo (%)]. El segundo criterio responde al tipo de cobertura vegetal considerando la relación entre la presencia de dos especies 2) relación entre cobertura especifica [*Stapfochloa berroi* (%)] / [*Distichlis scoparia* (%)]. Consecuentemente las tres estepas se nombran en función a estas dos relaciones crecientes como: Estepa Cobertura Baja (ECB), Media (ECM) y Alta (ECA). La descripción detallada de la composición florística y estado de la cobertura vegetal de cada uno de estos sitios se muestra en el relevamiento de especies seleccionadas, en la Figura 1 y en el Anexo (Figuras 8, 9 y 10). En 2017 se hizo un ensayo igual en las mismas tres estepas mencionadas anteriormente.

Relevamiento de especies seleccionadas

ECB estepa de cobertura baja. Predominancia de suelo desnudo (70%) en relación con la cobertura vegetal (30%). Sin presencia de broza. La composición de la cobertura específica es 40% *S. pyramidatus* como especie dominante, 25 % *D. scoparia* y 0% *S. berroi.*

ECM estepa de cobertura media. Disminución de suelo desnudo (30%) en relación con cobertura vegetal (65 %). Suma a la cobertura 5% de broza. La cobertura específica dominante *D. scoparia* (20 %) respecto a *S. berroi* (10 %).

ECA estepa de cobertura alta. Disminución de suelo desnudo (15%) em relación con cobertura vegetal (75 %). Suma a la cobertura 10 % de broza. La especie dominante es *S. berroi* (25%) respecto a *D. scoparia* (15%).

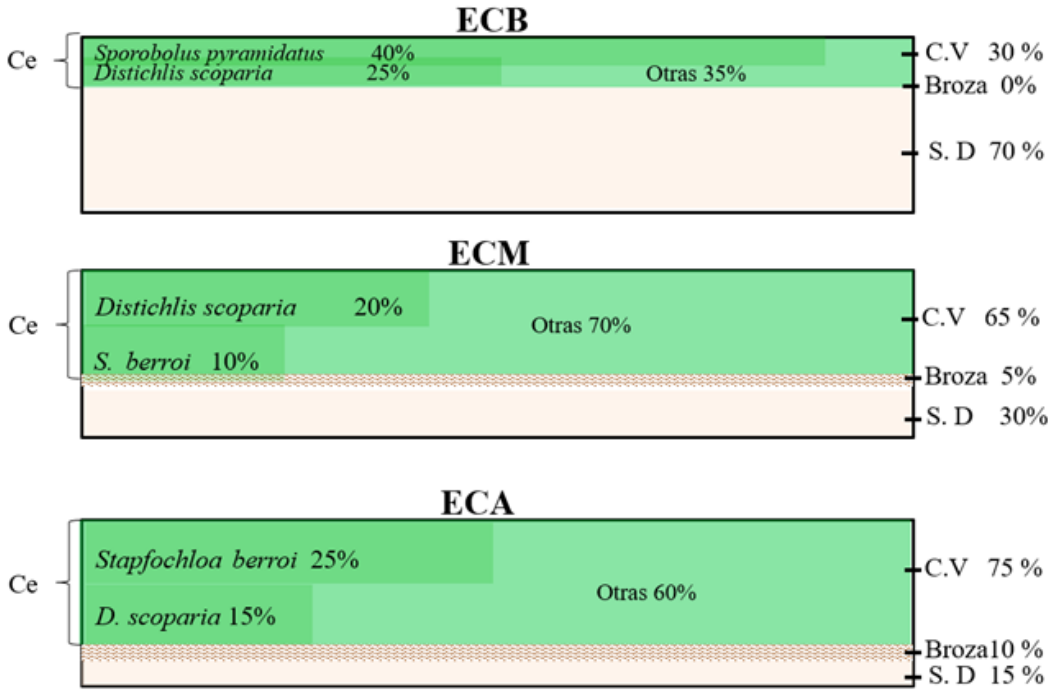

Figura 1. Sitios identificados como Estepa Cobertura Baja (ECB), Media (ECM) y Alta (ECA) en referencia a su relación entre cobertura vegetal (C.V) vs suelo desnudo (S.D) y a su diferente composición de cobertura específica (Ce) en relación con la presencia de las especies *S. berroi* vs *D. scoparia*. En ECB se excepcionalmente se incorporó la especie *S. pyramidatus*.

Diseño experimental y muestreo

El diseño experimental corresponde a “DCA anidado” donde cada una de las estepas se considera un sitio de estudio. Consecuentemente, las tres estepas forman parte de un gradiente creciente en función a la cantidad y tipo de cobertura y por eso llamadas como: estepa cobertura baja (ECB), cobertura media (ECM) y cobertura alta (ECA), y son analizadas de forma independiente. Para ello, el muestreo también se efectuó de forma independiente dentro de cada sitio. Se tomaron muestras de suelo en tres tipos de micrositios dentro de cada sitio (nueve micrositios en total). Los micrositios fueron seleccionados de tal forma que, dos se correspondan con las dos especies predominantes en la cobertura vegetal del sitio, micrositio especie específico (Mst.Sp) y uno con suelo desnudo. Los dos Mst.Sp fueron diferentes en cada sitio, para ECB se tomaron $Mst.Sp_1$ bajo las plantas de *Distichlis scoparia* y $Mst.Sp_2$ bajo plantas de *Sporobolus pyramidatus;* para ECM $Mst.Sp_1$ bajo plantas de *Stapfochloa berroi* y $Mst.Sp_2$ bajo plantas de *Distichlis scoparia* y; para ECA se tomó nuevamente $Mst.Sp_1$ bajo plantas de *Stapfochloa berroi* y $Mst.Sp_2$ bajo plantas de *Distichlis scoparia*. El micrositio suelo desnudo fue tomado para todos los sitios y como su nombre lo indica, se corresponde con micrositios que no están ocupados por vegetación en superficie.

Para cada micrositio se tomó un n=10, por lo que sumó un total de 90 muestras. Cada muestra equivale a una muestra compuesta, resultante de la suma de extracciones de pequeños cilindros (entre 30 y 45 cilindros de 7cm profundidad x 2cm de diámetro) y hasta completar 1 kg de suelo aproximadamente (Ver Anexo, Figuras 11 y 12). Las muestras de suelo se llevaron al laboratorio, donde se acondicionaron para la determinación de las variables edáficas y biomasa subterránea. Todos los análisis se realizaron en el laboratorio de la Cátedra de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales-UNLP.

Variables analizadas

pH actual (real): relación suelo: agua 1:2,5, mediante vía potenciométrica.

Relación de adsorción de sodio (SAGPyA, 2004).

$$RAS = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{+2}+Mg^{+2}}{2}}}$$

Conductividad eléctrica (CE) en extracto de la pasta saturada, determinación por conductimetría.

Nitrógeno total (Nt) mediante digestión húmeda, evaluación por Microkjeldahl, (PROMAR, 1991).

Carbono orgánico total (COT), determinado por Walkley & Black modificado, digestión húmeda, micrométodo, (IRAM/SAGyP 29571-3).

Biomasa subterránea. Se cuantificó la materia seca (g) de la biomasa vegetal subterránea (raíces, restos vegetales y estructuras subterráneas) de 0 a 7 cm del horizonte superficial, en relación con masa seca total de la muestra de suelo (Piñeiro et al., 2009). Según la fórmula:

$$PPR\ (\%) = \frac{msbs}{ss}\ 100$$

Donde la proporción de raíces (PPR) en porciento es la relación entre la materia seca de la biomasa vegetal subterránea (msbs) y la muestra de suelo seco (ss) a 105 °C. (Davidson & Ackerman 1993).

Análisis estadísticos

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico InfoStat versión 1.1 (Di Rienzo et al., 2011). Previo al análisis de los datos se evaluó el cumplimiento de los supuestos de la distribución normal del error a partir de la prueba de Shapiro Wilks y de homocedasticidad de la varianza con el test de Levene. Los datos se analizaron primeramente con técnicas de estadística descriptiva. La variabilidad de los micrositios se analizó dentro de cada sitio y comparó las medias mediante el test de Fisher.

Los componentes de variación respecto a la media general para cada micrositio son explicados bajo el modelo estadístico siguiente.

*Modelo lineal que describió el diseño jerárquico o anidado

$$\boldsymbol{y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{j(i)} + \varepsilon_{(ij)k}}$$

$$i = \text{Sitio (St)} = St_1, St_2, St_3 j = \text{ Micrositio (Mst)} = Mst_1, Mst_2, Mst_3 k$$
$$= observaciones\ (obs) = n = 10$$

$y_{ijk} = \text{Valor de la Variable edáfica determinada en la } k - \text{ésima obs del j}$
$- \text{ésimo Mst anidado al } i - \text{ésimo St.}$

$\mu = \text{promedio genral.}\ \alpha_i = \text{variacion explicada por efecto del } i - \text{ésimo St.}$

$\beta_{j(i)} = \text{efecto explicado por el } j - \text{ésimo Mst anidado en el } i - \text{ésimo St}$

$\varepsilon_{(ij)k} = \text{error aleatorio correspondente a la obs} k - \text{ésimo, en el } j - \text{ésimo Mst anidado al } i$
$- \text{ésimo St.} \qquad \varepsilon_{(ij)k} \sim \mathrm{N}(0, \sigma_\varepsilon^2)$

RESULTADOS

En función al diseño experimental se muestran las variables particionando los sitios Estepa Cobertura Baja (ECB), Media (ECM) y Alta (ECA).

Estepa cobertura baja (ECB)

Dentro del sitio ECB entre micrositios hubo diferencias significativas de pH (F=17,36; p<0,0001). En el micrositio ocupado por *S. pyramidatus* el pH (9,41) fue significativamente menor respecto al ocupado por *D. scoparia* (9,47) y suelo desnudo (9,9). No hubo diferencia entre estos dos últimos tratamientos (Figura 2). Contrariamente a lo encontrado para pH, no hubo diferencias significativas en la relación de adsorción de sodio (RAS) (Figura 3). La conductividad eléctrica (CE) mostró diferencias significativas (F= 3,18; p=0,0576). Los micrositios ocupados por *S. pyramidatus* y *D. scoparia* mostraron menor CE (2,35 dS/m y 2,34 dS/m respectivamente) no se diferenciaron entre ambos, pero si con el suelo desnudo (2,5 dS/m) (Figura 4). Los resultados en nitrógeno total (Nt) marcaron diferencias significativas (F=15,17; p<0,0001). El micrositio con suelo desnudo arrojó un valor significativamente menor (0,098%) en comparación con el micrositio *S. pyramidatus* y *D. scoparia* (0,146% y 0,134% respectivamente), no se encontraron diferencias entre estos micrositios específicos (Figura 5). Se

encontraron diferencias significativas (F=30,02; p<0,0001) en el carbono orgánico (CO) para los tres micrositios. El suelo desnudo fue el de menor valor (0,9%), en relación con los micrositios ocupados por *S. pyramidatus* (1,5%) y *D. scoparia* (1,14%). El carbono debajo de *S. pyramidatus* fue significativamente mayor que debajo de *D. scoparia* (Figura 6). La cantidad de raíces indicó diferencias significativas (F= 91,3; p<0,0001). El micrositio *S. pyramidatus* (0,4%) fue significativamente mayor en relación con los micrositios suelo desnudo y *D. scoparia* los cuales no mostraron diferencias entre sí (0% y 0,03% respectivamente) (Figura 7).

Estepa cobertura media (ECM)

Se encontró diferencia significativa en el pH (F= 22,56; p=0,0001). Los tres micrositios mostraron diferencia significativa entre sí, el suelo desnudo tuvo el mayor valor (9,33), seguido por el micrositio de *D. scoparia* (9,04) y *S. berroi* el menor valor (8,69) (Figura 2). La RAS también mostró diferencia (F= 4,55; p=0,0338), el suelo desnudo presentó mayor valor (13,1) que el micrositio con *S. berroi* (11,18), y en tanto que *D. scoparia* tuvo un valor intermedio sin diferenciarse (12,52) entre los otros dos (Figura 3). No hubo diferencias en la CE (Figura 4), como así tampoco en el Nt (Figura 5). Pero si mostró diferencia el CO (F= 20,87; p=0,0001), los tres micrositios dieron diferente, siendo el suelo desnudo el de menor valor (1,17%), seguido por *D. scoparia* (1,45%) y *S. berroi* con el mayor contenido de CO (1,7%) (Figura 6). La cantidad de raíces mostró diferencias significativas (F= 11,67; p=0,0015). El suelo desnudo tuvo el menor valor (0,04%) en relación con los micrositios ocupados por *D. scoparia* (0,21%) y *S. berroi* (0,21%) (Figura 7).

Estepa cobertura alta (ECA)

Hubo diferencia significativa de pH (F=2,94; p=0,0915), el micrositio suelo desnudo mostró un valor (8,62) significativamente mayor que el micrositio ocupado por *S. berroi* (8,28), en tanto el micrositio de *D. scoparia* tuvo valor intermedio (8,32) y no se diferenció significativamente (Figura 2). La RAS no mostró diferencia (Figura 3), como así tampoco la CE (Figura 4). Los valores de Nt mostraron diferencias (F=2,97; p=0,0895), el micrositio con *S. berroi* tuvo

mayor % Nt (0,173%) que el suelo desnudo (0,145%) y el micrositio con *D. scoparia* un valor intermedio (0,161%) (Figura 5). El CO se comportó igual que el % Nt, mostró diferencia (F= 4,32; p=0,0387) y el micrositio de *S. berroi* mostró mayor valor (1,85%) que el suelo desnudo (1,59%) en tanto que el micrositio con *D. scoparia* (1,51%) un valor intermedio sin una diferencia significativa (Figura 6). La cantidad de raíces mostró diferencias significativas (F=55,06; p<0,0001). El micrositio de *S. berroi* tuvo un valor significativamente mayor (0,95%) que el micrositio con *D. scoparia* (0,32%) y el suelo desnudo (0,1%). En estos últimos dos micrositios las diferencias también fueron significativas. (Figura 7).

Tablas y Figuras.

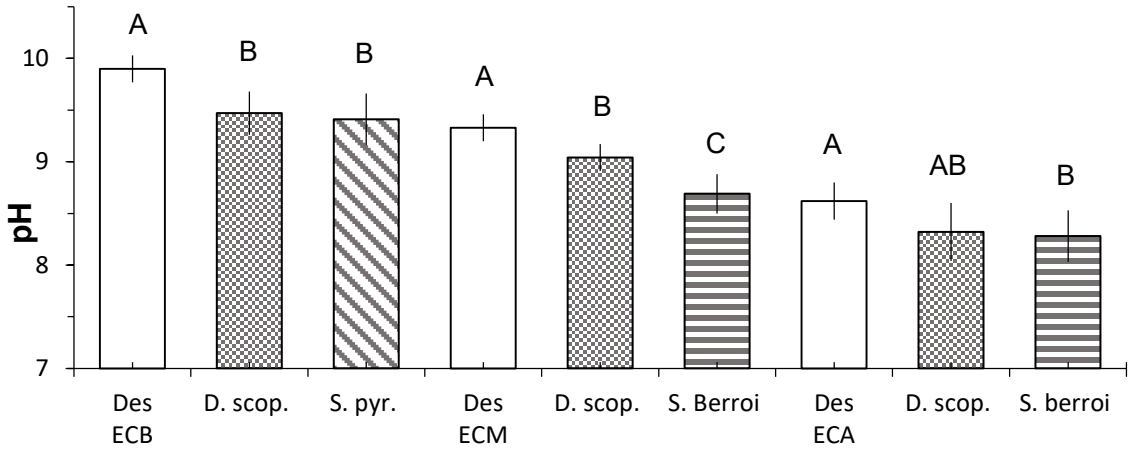

Figura 2. pH 1:2,5 (suelo: agua) para dos micrositios ocupados por diferente especie: *Stapfochloa berroi*, ex *Chloris berroi (S. berroi*), *Distichlis scoparia (D. scop*.), *Sporobolus pyramidatus* (*S. pyr*.) y otro con suelo desnudo (Des). Cada trío de micrositios fue seleccionado en estepas de halófitas (sitios) con diferente cobertura vegetal: estepa cobertura alta (ECA), estepa cobertura media (ECM) y estepa cobertura baja (ECB). Letra diferente sobre cada barra indica diferencia significativa entre micrositio dentro de un mismo sitio (Test LSD; p<0,05). Línea vertical indica el desvío estándar de la media.

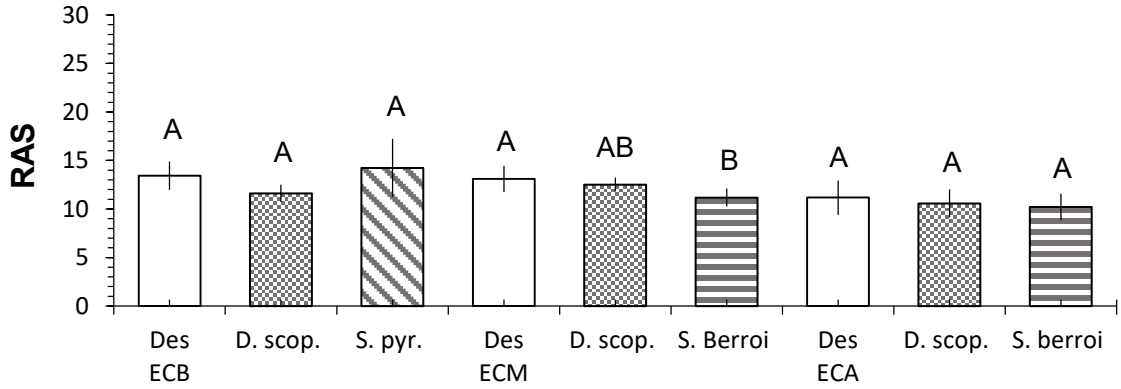

Figura 3. Relación de adsorción de sodio (RAS) del suelo para dos micrositios ocupados por diferente especie: *Stapfochloa berroi*, ex *Chloris berroi (S. berroi*), *Distichlis scoparia (D. scop*.), *Sporobolus pyramidatus* (*S. pyr*.) y otro con suelo desnudo (Des). Cada trío de micrositios fue seleccionado en estepas de halófitas (sitios) con diferente cobertura vegetal: estepa cobertura alta (ECA), estepa cobertura media (ECM) y estepa cobertura baja (ECB). Letra diferente sobre cada barra indica diferencia significativa entre micrositio dentro de un mismo sitio (Test LSD; p<0,05). Línea vertical indica el desvío estándar de la media.

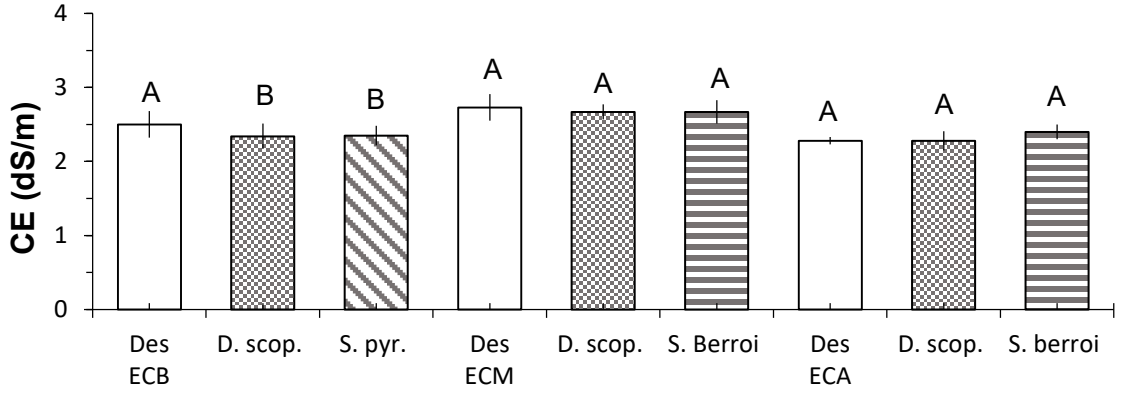

Figura 4. Conductividad eléctrica (CE) del suelo para dos micrositios ocupados por diferente especie: *Stapfochloa berroi*, ex *Chloris berroi (S. berroi*), *Distichlis scoparia (D. scop*.), *Sporobolus pyramidatus* (*S. pyr*.) y suelo desnudo (Des). Cada trío de micrositios fue seleccionado en estepas de halófitas (sitios) con diferente cobertura vegetal: estepa cobertura alta (ECA), estepa cobertura media (ECM) y estepa cobertura baja (ECB). Letra diferente sobre cada barra indica diferencia significativa entre micrositio dentro de un mismo sitio (Test LSD; p<0,05). Línea vertical indica el desvío estándar de la media.

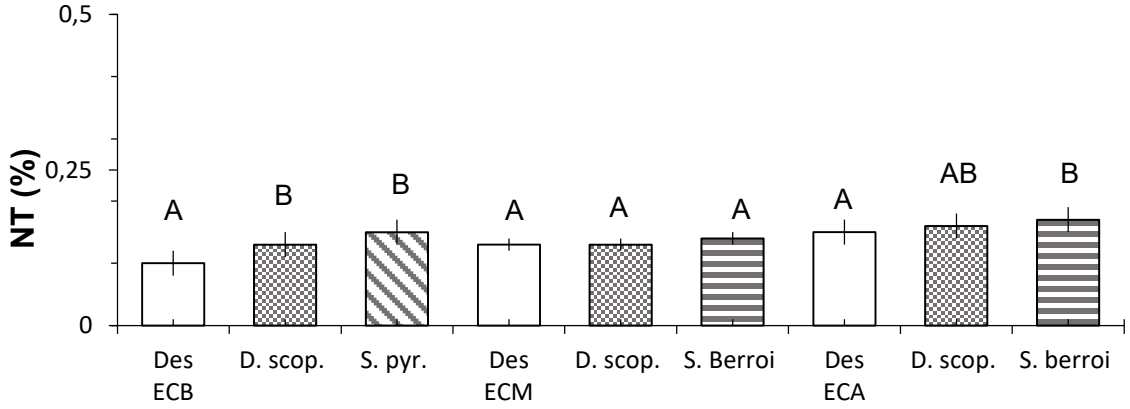

Figura 5. Nitrógeno total (Nt) del suelo para dos micrositios ocupados por diferente especie: *Stapfochloa berroi*, ex *Chloris berroi (S. berroi*), *Distichlis scoparia (D. scop*.), *Sporobolus pyramidatus* (*S. pyr*.) y suelo desnudo (Des). Cada trío de micrositios fue seleccionado en estepas de halófitas (sitios) con diferente cobertura vegetal: estepa cobertura alta (ECA), estepa cobertura media (ECM) y estepa cobertura baja (ECB). Letra diferente sobre cada barra indica diferencia significativa entre micrositio dentro de un mismo sitio (Test LSD; p<0,05). Línea vertical indica el desvío estándar de la media.

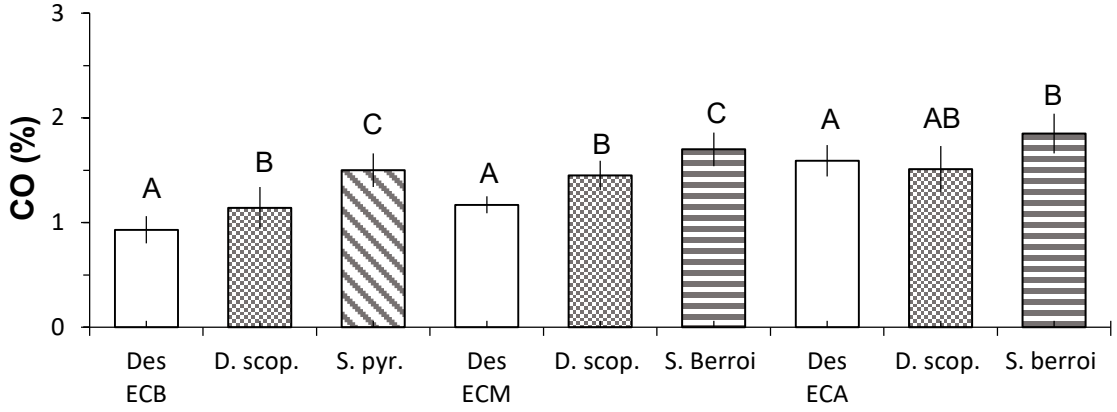

Figura 6. Carbono orgánico (CO) del suelo para dos micrositios ocupados por diferente especie: *Stapfochloa berroi*, ex *Chloris berroi (S. berroi*), *Distichlis scoparia (D. scop*.), *Sporobolus pyramidatus* (*S. pyr*.) y suelo desnudo (Des). Cada trío de micrositios fue seleccionado en estepas de halófitas (sitios) con diferente cobertura vegetal: estepa cobertura alta (ECA), estepa cobertura media (ECM) y estepa cobertura baja (ECB). Letra diferente sobre cada barra indica diferencia significativa entre micrositio dentro de un mismo sitio (Test LSD; p<0,05). Línea vertical indica el desvío estándar de la media.

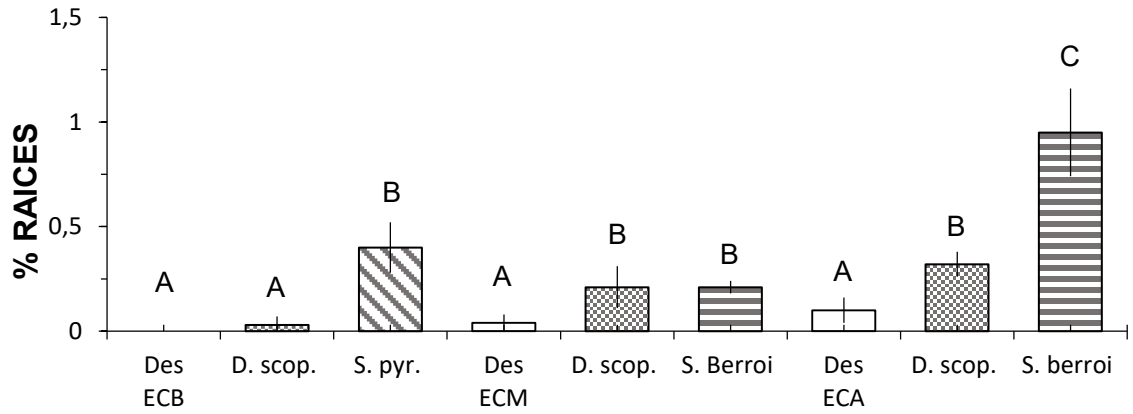

Figura 7. Proporción de raíces respecto a la cantidad de suelo para micrositios ocupados por diferente especie: *Stapfochloa berroi*, ex *Chloris berroi (S. berroi*), *Distichlis scoparia (D. scop*.), *Sporobolus pyramidatus* (*S. pyr*.) y suelo desnudo (Des). Cada micrositio y el suelo desnudo seleccionados en estepas de halófitas (sitios) con diferente cobertura vegetal: estepa cobertura alta (ECA), estepa cobertura media (ECM) y estepa cobertura baja (ECB). Letra diferente sobre cada barra indica diferencias significativas entre micrositios dentro de un mismo sitio (Test LSD; $p<0,05$). Línea vertical indica el desvío estándar de la media.

DISCUSION

Se abordará la discusión agrupando las variables edáficas en dos grupos. Por un lado, las que inciden marcadamente en la solubilidad de los nutrientes, movimiento del agua y aire para la vegetación y biología edáfica (pH, CE, RAS) y por otro, las que permiten inferir acerca del ciclado de nutrientes C y N (CO y Nt); se suma a estas el contenido de raíces, entendido como el principal flujo de ingreso de material vegetal orgánico al suelo en los sistemas de pastizal natural.

En la ECB el micrositio suelo desnudo presentó mayor alcalinidad y salinidad (pH y CE) respecto a los Mst.Sp. En los suelos halomórficos la pérdida de cobertura genera un aumento de la temperatura del suelo, pérdida de agua por evaporación y ascenso de Na^+ provocando un aumento de pH en superficie (Taboada y Lavado, 2009). La diferencia de pH encontrado entre los Mst.Sp de *D. scoparia* y *S. pyramidatus* podría explicarse por un efecto específico de la especie (efecto especie específico). En el caso de *D. scoparia* las plantas son de porte erecto, con tallos finos y hojas aciculares (López Zoto et al. 2009), por lo que la densidad de canopeo es baja y el nivel de cobertura

que genera a escala micrositio de suelo es pobre. Contrariamente, las plantas de *S. pyramidatus* son de porte rastrero, con estolones y hojas anchas que suele acumular broza. Se visualizan en el paisaje como islas sobreelevadas de tapiz vegetal denso. Estas diferencias estructurales sumadas a otras relacionadas a la calidad de la broza (Garibaldì et al. 2007) podría en parte explicar las diferencias entre estos Mst.Sp.

En la ECM la cobertura fue mayor (CV 65% + Broza 5%), este no es un dato menor si se quiere analizar el efecto específico de una especie a escala micrositio. Por su parte en la ECB las plantas se disponen solitarias o en pequeños grupos en una superficie donde predomina el suelo desnudo. En el caso de ECM, el paisaje es distinto, suele haber un mosaico que intercala entre parches de suelo desnudo e islotes de cobertura vegetal formado por conjuntos de individuos (poblaciones) que forman un tapiz con alta cobertura. El efecto específico de una especie en el Mst.Sp, puede verse potenciado por un efecto de cobertura a escala parche, donde el conjunto de individuos forman una cobertura bastante entreverada marcando una clara diferencia entre suelo desnudo, pero no tan clara entre Mst.Sp. En la ECM en el micrositio debajo de las plantas de *S. berroi* reportó menor pH que el encontrado debajo de las plantas de *D. scoparia* y en suelo desnudo. Los resultados arrojados en este trabajo coinciden con lo reportado por Bolaños et al. (2015) quienes encontraron relación entre la mayor cobertura de *S. berroi* y el menor pH de suelo (correlación negativa) y a mayor cobertura de *D. scoparia* mayor pH (correlación positiva). La relación de mayor presencia de la especie con la menor alcalinidad edáfica es indicio de que existe algún efecto, sea directo o indirecto, regulador de la alcalinidad del suelo. Se infiere un mayor contenido de Na^+ en superficie en los micrositios de suelo desnudo respecto al Mst.Sp de *S berroi,* En tanto, el mayor nivel de cobertura en los parches de vegetación podría explicar que no se halle diferencia entre ambos Mst.Sp en este ambiente.

En la ECA el estado de la cubierta vegetal es aún más compleja respecto a la ECM, CV 75% + Broza 10% y consecuente, los efectos específicos de una especie pueden verse enmascarados dada la superposición de nichos a escala micrositio de suelo. En suma, a nivel parche tampoco es tan

clara la distinción entre micrositios de suelo desnudo y los Mst.Sp. En este sentido, para ECA no se encontró diferencias significativas en la RAS y CE entre micrositios. No obstante, los Mst.Sp. de *S. berroi* dieron menor pH respecto a los de suelo desnudo, aunque la diferencia con *D. scoparia* no fue significativa. Resultado similar fue hallado por Taboada y Lavado (2009) al relacionar suelo desnudo con mayor pH, respecto a los de cobertura vegetal con menor pH. El efecto de la alta cobertura vegetal y de broza presente en ECA generaría un efecto a escala potrero, de alguna manera una cierta homogeneización entre micrositios producto de la superposición aérea y subterránea entre las especies presentes y la superficie de suelo. El suelo desnudo, por su parte, es practicante mínimo. El aumento de la cobertura total que involucra la cobertura vegetal y la de broza, tiene implicancias sobre diferentes procesos del ecosistema: actúa como amortiguador del agua de lluvia, reduce la evaporación y aumenta la infiltración (Phillips 1984; Mielke et al. 1986). La menor evaporación y mayor infiltración contribuirían sinérgicamente a reducir la presencia de Na^+ en la superficie del suelo y consecuentemente a que haya menor alcalinidad (Phillips, 1984). Como contrapunto en esta estepa, la RAS y la CE no muestran valores significativamente distintos entre sus micrositios, podría esperarse que el efecto cobertura a escala potrero desdibuje los posibles efectos específicos buscados a escala micrositio. Aun así, se halló pH significativamente menor en el micrositio de *S. berroi* respecto al de suelo desnudo.

Asner y colaboradores (1997) explican como el C y el N circulan conjuntamente en ciertas partes de sus ciclos (consumo por herbívoros o senescencia) y separadamente en otras (volatilización, respiración, fotosíntesis), lo cual les confiere tanto interdependencia como autonomía. Diversos autores muestran que existe una estrecha vinculación entre el ciclo del C y el del N, principalmente en la acumulación de estos elementos en la materia orgánica del suelo en clima templado húmedo a subhúmedo como en los de los pastizales del Río de La Plata (Drinkwater et al., 1998, Neff et al. 2002, Conant et al., 2005). Consecuentemente con ello, resulta conveniente analizar y discutir los resultados de Nt, CO y % de raíces de forma integral y relacionada. En la ECB, el contenido de CO, Nt y el % de raíces pudo verse

afectado por la alta presión de pastoreo que llevó a la mala condición de cobertura del sitio (alto porcentaje de suelo desnudo y poca cobertura). Los herbívoros afectan la proporción de la productividad primaria neta que es almacenada en las raíces respecto a la aérea (Piñeiro, 1999). La circulación de N en el ecosistema se acelera a través del retorno en heces y orina (Seastedt 1995, McNaughton et al. 1997), pero además aumenta las pérdidas por lixiviación y volatilización.

En ECB, el micrositio de *S. pyramidatus* reportó mayor CO, Nt y % de raíces. *S. pyramidatus* es reconocida mundialmente por colonizar ambientes con alta salinidad, elevado pH, falta de nutrientes, si bien tiene un mediano valor forrajero, su valor ecológico como cubre suelo es excelente. Dicha especie en situación de pastoreo adquiere un porte rastrero formando pequeñas isletas sobreelevadas en el terreno donde se produce acumulación de restos vegetales. El mayor contenido de CO puede ser atribuido a la cobertura vegetal aérea que junto con la broza y la biomasa de raíces modifican la actividad del ambiente edáfico, generando mayor actividad microbiológica (Ciacci, 2014).

En la ECM, el micrositio específico de *S. berroi* mostró el mayor valor de CO y % raíces, aunque, el Nt no mostró diferencias significativas. El aumento de la cobertura vegetal de *S. berroi* en la estepa de halófitas se corresponde con aumentos en la productividad primaria neta aérea de la comunidad vegetal y con el aumento del carbono orgánico del suelo (Bolaños et al., 2016). En la ECA los mayores valores de CO, Nt y % raíces se reportaron debajo de las plantas de *S. berroi*, pero las diferencias más claras observadas fueron al comparar con suelo desnudo, no así entre micrositios especie específico. La vegetación densa de este sitio forma un tapiz más o menos continuo y entreverado con distintas especies, pero cuya dominante fue *S. berroi*. Dicha configuración del tapiz contribuye sin duda a homogeneizar las condiciones microambientales del suelo y las diferencias entre micrositios especie específico en lo que respecta al carbono orgánico no son tan claras como pueden serlo en los sitios cuya vegetación es más bien fragmentada (ECM) o en el que cada micrositio especie específico es más característico respecto a la especie que lo ocupa (ECB). El hecho de que *S. berroi* domine por sobre las

demás especies que constituyen el tapiz vegetal del suelo podría explicar que exista mayor cantidad de raíces en este micrositio marcando diferencias significativas con el micrositio ocupado por *D*. *scoparia* y el suelo desnudo.

CONCLUSIONES

Hay variabilidad en las propiedades químicas del suelo a escala micrositio.

La variabilidad química del suelo está relacionada con la especie que ocupa el micrositio siendo *Sporobolus pyramidatus* la especie que se relacionó con la mejor condición en la estepa cobertura baja y *Stapfochloa berroi* en los sitios de cobertura media y alta.

En la estepa de halófitas de cobertura baja el mayor porcentaje de raíces fue para *Sporobolus pyramidatus,* en la ECA debajo de *Stapfochloa berroi* presentó los valores más altos *y* se diferenció de *Distichlis scoparia*.

BIBLIOGRAFÍA

Asner, G. P., T. R. Seastedty A. R. Townsend. 1997. The decoupuling of terrestrial Carbon and Nitrogen Cycles. BioScience 47:226-234.

Berasategui L.A. & L.A. Barberis 1982. Los suelos de la región de Castelli-Pila, Depresión del Salado (Provincia de Buenos Aires).Revista de la Facultad de Agronomía 3: 13–25.

Bolaños V.R.A., M. C. Vecchio & R.A Golluscio. 2015. Sucesión Post Clausura al Pastoreo en Pastizal Halófito. Cambios florísticos y edáficos y su relación. V Congreso Latinoamericano de Agroecología - SOCLA. FCAyF. La Plata, pcia de Buenos Aires, Argentina.

Bolaños V.R.A., M. C. Vecchio, A. Pellegrini & R. A. Golluscio 2016. Exclusion as soil organic carbon restoring strategy in halophyte grasslands of the Flooding Pampa, Argentina. Congress international of Rangeland. Canadá.

Burkart, S.E., M.F. Garbulsky, C.M. Ghersa, J.P. Guerschman, R.J.C. León, M. Oesterheld & S.B. Perelman. 2005. Las comunidades potenciales del pastizal pampeano bonaerense. En: La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León. M Oesterheld, MR Aguiar, CM Ghersa y JM Paruelo (eds.). pp. 379-399.

Ciacci, M. B. 2014. Influencias de las coberturas vegetales sobre el comportamiento del cultivo del duraznero y sobre los atributos del suelo. M. Sc. Tesis. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina. 21 pp.

Conant, R. T., K. Paustian, S. J. Del Grosso & W. J. Parton. 2005. Nitrogen pools and fluxes in grassland soils sequestering carbon. Nutrient Cycling in Agroecosystems 71:239-248.

Daily, G. C. 1997. "Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems". The Future of Nature: Documents of Global Change, edited by Libby Robin, SverkerSörlin & Paul Warde. New Haven: Yale University Press, 2013, pp. 454-464.

Davidson, E.A. & I.L Ackerman. 1993. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils, Biogeochemistry, 20, 161–193, doi:10.1007/BF00000786.

Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada, & C.W. Robledo. 2016. InfoStat versión 2016. Universidad Nacional de Córdoba. http://www.infostat.com.ar. Último acceso: abril 2022. Drinkwater, L. E., P. Wagoner & M. Sarrantonio. 1998. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. Nature 396:262-265.

Elkins C., R. Haaland. & C. Hoveland. 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.

Garibaldi L.; M. Semmartin, E.J. Chaneton. 2007. Grazing-induced changes in plant composition affect litter quality and nutrient cycling in Flooding Pampa grasslands. Oecologia 151:650–662

Hassan, R.; R. Scholes & N. Ash. (eds.). 2005. Ecosystem and human well-being. Millennium ecosystem assessment.

Herrera, L., C. Nabinger, F. Weyland & A. Parera (Eds.). 2014. Caracterización de los Pastizales del Cono Sur, servicios ecosistémicos y problemática actual de conservación. En: Índice de Contribución a la Conservación de Pastizales Naturales del Cono Sur. Una herramienta para incentivar a los productores rurales. Ed. Aníbal Parera, Inés Paullier, Federico Weyland, Uruguay. pp: 21 – 39.

Insausti, P., A. Soriano & R. Sanchez. 1995. Effects of flood influenced factors on seeds germination of Ambrosia tenuifolia. Oecologia 103:127-132.

IRAM-SAGyP 29571-3:2016. Calidad ambiental. Calidad del suelo. Determinación de materia orgánica en suelo. Parte 3 – Determinación de carbono orgánico oxidable por mezcla oxidante fuerte, micro escala.

Lavado, R.S. & M.A. Taboada. 1987. Soil salinization fluxes as an effect of grazing in a native grassland soil in the Flooding Pampa in Argentina. Soil, Use and Management 4:143-148.

León, R.J.C., G.M. Rusch & M. Oesterheld. 1984. Pastizales pampeanos-impacto agropecuario. Phytocoenología 12(2/3):201-218.

López Zoto, M. Martina, S.D. Koch, M. Florez-Cruz, & E.M Englemand. 2009. Anatomia Foliar Comparada del Genero Distichlis (Poaceae). Acta Botanica Mexicana. 89: 1-23.

McNaughton, S., F. Banyikwa & M. McNaughton. 1997. Promotion of the cycling of diet-enhancing nutrients by African grazers. Science 278:1798-1800.

Mielke, L. N., J. W. Doran & K. A. Richards. 1986. Physical environment near the surface of ploughed and no-tilled soils. Soil Tillage Res. 7: 355-366.

Neff, J. C., A. R. Townsend, G. Gleixner, S. J. Lehman, J. Turnbull & W. D. Bowman. 2002. Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon. Nature 419:915 - 917.

Oesterheld, M. & O.E. Sala. 1990. Effects of grazing on seedling establishment: the role of seed and safe-site availability. Journal of Vegetation Science 1:353-358.

Otondo, J. 2011. Efectos de la introducción de especies megatérmicas sobre características agronómicas y edáficas de un ambiente halomórfico de la Pampa Inundable. M. Sc. Tesis. Escuela para Graduados Alberto Soriano. FAUBA, Buenos Aires, Argentina. 136 pp.

Phillips, R.E. 1984. Soil moisture. En: No-tillage agriculture. Principles and practices Phillips, R.E y S.H. Phillips (Eds.). Van Nostrand Reinhold Co., New York, USA. pp: 66-86.

Piñeiro, G. 1999. Biogeoquímica del carbono y nitrógeno en los pastizales pastoreados del Río de la Plata: Un análisis basado en modelos de simulación, sensores remotos y experimentos a campo. PhD. Tesis. Escuela para Graduados Alberto Soriano. FAUBA, Buenos Aires, Argentina. 166 pp.

Piñeiro, G., J.M. Paruelo, E.G. Jobbágy, R. Jackson & M. Oesterheld. 2009. Grazing effects on belowground C and N stocks along and network of cattle exclosures in temperate and subtropical grasslands of South America. Global Biogeochemical Cycles. 23, doi: 10.1029/2007GB003168.

PROMAR (Programa de métodos analíticos de referencia). 1991. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo - Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca. pH, Carbono, Materia orgánica, Nitrógeno total, Fósforo extractable. Argentina. pp. 27.

Qadir, M., J.D. Oster, S. Schubert, A.D. Noble & K.L Sahrawat. 2007. Phytoremediation of sodic and saline sodic soils. Advances in Agronomy 96: 197-247.

SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina). 2004. Dirección de Producción Agrícola. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos (SAMLA). CD-Rom

Sala, O.E., M. Oesterheld, R. J. C. Leon & A. Soriano. 1986. Grazing effects upon plant community structure in subhumid grasslands of Argentina. Vegetatio 67: 27-32.

Seastedt, T. R. 1995. Soil systems and nutrient cycles of the north American prairie. pp 157-174 in A. Joern and K. Keeler, editors. The Changing Prairie. North American grasslands. Oxford Univ. Press, New York.

Shaltout, K.H., E.F. El-Halawany & H.F. El-Kady. 1996. Consequences of protection from grazing on diversity and abundance of the coastal lowland vegetation in Eastern Saudi Arabia. Biodiversity and Conservation. 5: 27–36. http://dx.doi.org/10.1007/BF00056290

Taboada, M.A. & R. S. Lavado. 1988. Grazing effects of the bulk density in a Natraquoll of the Flooding Pampa of Argentina. Journal of Range Management. 41: 502-505.

Taboada, M.A. 2005. Efectos del pastoreo y pisoteo animal sobre las propiedades físicas de los suelos. En: Reología del suelo agrícola bajo tráfico. Jorajuría Collazo D., Ed. Universidad de La Plata, La Plata, Buenos Aires. pp. 131–142.

Taboada, M. A. & R. S. Lavado. 2009. Alteraciones de la fertilidad de los suelos. El halomorfismo, el hidromorfismo y las inundaciones. Editorial Facultad de Agronomía UBA. 1ra Edición.

Vecchio, M.C., R.A. Golluscio, A.M. Rodríguez & M.A Taboada. 2018. Improvement of saline- sodic grassland soils properties by rotational grazing in Argentina. Rangeland Ecology and Management, 71: 807-814.

Vecchio, M. V.R.A. Bolaños, R.A. Golluscio & M. Rodríguez. 2019. Rotational grazing improves grassland condition of the halophytic steppe in Flooding Pampa (Argentina). The Rangeland Journal, 41: 1–12.

ANEXOS

Imágenes

Figura 8. Estepa Cobertura Baja (ECB), condición en que se encuentra el lote al momento de la extracción de la muestra de suelo. Predominancia de suelo desnudo intrincado con islas de población de *S. pyramidatus* y plantas de *D. scoparia*.

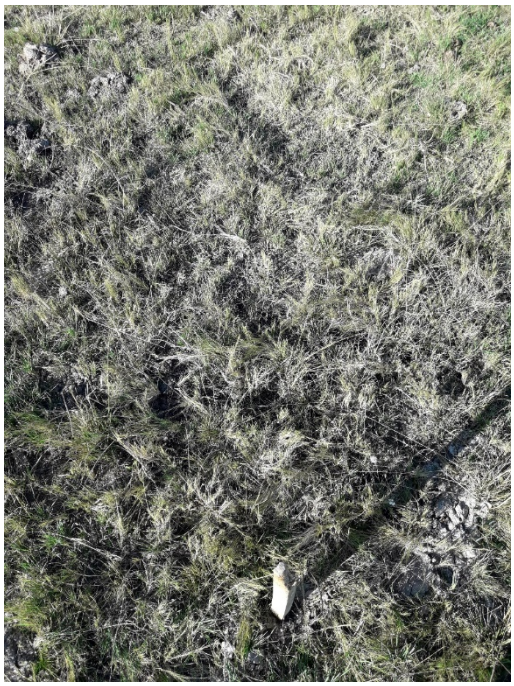

Figura 9. Estepa Cobertura Media (ECM), condición en que se encontraba el lote al momento de la extracción de la muestra de suelo. Predominancia de cobertura respecto a suelo desnudo. Poblaciones densas de *S. berroi* y *D. scoparia*.

Figura 10. Estepa Cobertura Alta (ECA), condición en que se encontraba el lote al momento de la extracción de la muestra de suelo. Predominancia de cobertura respecto a suelo desnudo. Tapiz denso con nichos de especies entreverados y superposición aérea. Matas de plantas de *S. berroi* y *D. scoparia*.

Figura 11. Muestra de micrositio de suelo, cilindro de 7 cm de profundidad x 2 cm de diámetro con los que se completó la muestra compuesta de suelo hasta obtener 1 kg de suelo (aproximadamente 30 cilindros).

Figura 12. Muestras compuestas de suelo resultantes de la suma de extracciones de pequeños cilindros (7 cm de profundidad x 2 cm de diámetro) hasta completar aproximadamente 1 kilogramo de suelo y extracción de restos vegetales subterráneos para la determinación biomasa de raíz (% raíces).