

DELIMITACIÓN DE ZONAS DE MANEJO EN PASTURAS BAJO DIFERENTES NIVELES DE NITROGENO Y EPOCAS DEL AÑO

PABLO LEANDRO CICORE^{1,2*}, NAHUEL RAUL PERALTA³, MAURICIO CASTRO FRANCO⁴, GASTON LARREA⁵, JOSE LUIS COSTA²

Recibido: 7/8/2020

Recibido con revisiones: 3/2/2021

Aceptado: 3/2/2021

RESUMEN

Los suelos ganaderos presentan una elevada heterogeneidad que provoca variabilidad en la producción de forraje. Por lo tanto, los objetivos de este trabajo fueron (a) determinar, a escala de lote, si la relación entre la conductividad eléctrica aparente (CEa) y propiedades edáficas, permite delimitar zonas de manejo potenciales (ZMP) y (b) evaluar si estas ZMP se relacionan, en primavera y otoño, con la variación espacial de la producción de forraje de una pastura de festuca alta creciendo con y sin limitantes de nitrógeno (N). En un lote de 5,75 ha que tenía implantada una pastura de festuca alta, se midió la CEa y en una grilla de 30 x 30 m se georreferenciaron 43 áreas de muestreo (AM) donde se determinaron propiedades edáficas (pH, textura, materia orgánica, humedad gravimétrica (%) a 33 y 1500 kPa, salinidad, sodio, calcio, magnesio solubles y relación de absorción de sodio). Además, en cuatro rebrotes: primavera 2015, primavera 2016, otoño 2016 y otoño 2017 se marcaron dos parcelas en cada AM y se aplicaron dos tratamientos: N0 (sin aplicación de N) y N250 (250 kg ha⁻¹ de N) para determinar la biomasa seca acumulada (BA). La salinidad y el porcentaje de arena fueron las variables que más explicaron la variabilidad de la CEa ($R^2 = 0,67$). Para el lote bajo estudio se delimitaron dos ZMP hallándose, en la BA promedio de primavera, interacción entre los factores de tratamiento ZMP y N ($P = 0,02$). Sin embargo, este comportamiento no se manifestó en la BA promedio de otoño ($P > 0,05$). En conclusión, mediante la CEa podrían delimitarse ZMP en primavera lo que facilitaría el manejo de pasturas de festuca alta. En cambio, no sería posible delimitar ambientes en otoño.

Palabras clave: Festuca alta, primavera, otoño, sensor de suelo.

DELINEATION OF MANAGEMENT ZONES IN PASTURES ACCORDING TO NITROGEN RATE AND GROWING SEASON

ABSTRACT

Soils for livestock production have a high heterogeneity that causes variability in forage production. The aims of this study were (i) to assess the relationship between ECa and soil

¹ INTA Balcarce

² FCA-UNMDP

³ Bayer Crop Science

⁴ Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

⁵ INTA Cuenca del Salado

* Autor de contacto: cicore.pabloleandro@inta.gov.ar

properties and then use this information to determine potential management zones (PMZ) and (ii) evaluate if these PMZ are related to forage yield of tall fescue during different regrowth periods under contrasting levels of N availability. The ECa was measured in a 5.75 ha paddock that sustained a permanent pasture dominated by tall fescue. A 30 m by 30 m grid cell size was chosen and 43 sampling areas (SA) each 4 m² in size, were geo-referenced. In each SA soil samples were collected and analyzed for soil physicochemical properties such as pH, texture, organic matter, gravimetric soil water content (%) at 33 and 1500 kPa, salinity, soluble sodium, calcium and magnesium and sodium adsorption ratio. In addition, SA were divided into two experimental units of 1 m by 2 m, one of which was fertilised with 250 kg N ha⁻¹ (N250) at the beginning of four regrowth periods (spring 2015, spring 2016, autumn 2016 and autumn 2017) and the other was not fertilised with N (N0). At the end of each regrowth period, the accumulated biomass (AB) was estimated. ECa was associated with salinity and sand percentage ($R^2 = 0,67$). Two PMZ were delimited and the differences in AB were compared through analysis of variance. In spring, the average AB showed a significant PMZ x N interaction ($P = 0.02$). By contrast, the effects of PMZ on forage yield were not statistically significant in autumn ($P > 0.05$). In conclusion, in spring, the production of tall fescue can be managed by PMZs delimited by ECa. However, the delimitation of PMZs was not possible during autumn.

Keywords: Tall fescue, spring, autumn, soil sensor.

INTRODUCCIÓN

En la pampa deprimida, donde predominan los sistemas de cría y recría vacuna, los suelos presentan elevada heterogeneidad edáfica a escala de lote (Cicore *et al.*, 2015; Peralta *et al.*, 2015). Por lo tanto, la variabilidad espacial en la producción de forraje y la eficiencia en el uso de recursos también serían elevadas, generándose así la necesidad de ajustar prácticas de manejo. En este contexto, delimitar zonas de manejo potenciales (ZMP), mediante tecnologías de agricultura de precisión, sería el primer paso para manejar adecuadamente esta variabilidad espacial (Bullock & Bullock, 2000).

Para delimitar ZMP es necesario un método que permita obtener, de forma rápida y a bajo costo, información espacial detallada sobre propiedades edáficas que influyen en el rendimiento (King *et al.*, 2005; Peralta *et al.*, 2013). En este sentido, la conductividad eléctrica aparente (CEa) del suelo a campo, la cual se define como la capacidad que tie-

ne el suelo para conducir la corriente eléctrica, es un parámetro confiable debido a que los valores de la CEa están influenciados por la salinidad (Rhoades *et al.*, 1976), la textura (Heil & Schmidhalter, 2012), la materia orgánica (MO) (Corwin & Lesch, 2005) y el pH (Sanches *et al.*, 2018). Además, este parámetro es estable en el tiempo, los valores de la CEa cambian con el contenido de agua del suelo, pero los patrones de variación permanecen relativamente estables (Farahani & Flynn, 2007). Sin embargo, algunas propiedades del suelo, como la disponibilidad de nitrógeno (N), no están relacionadas con la CEa (Kuang *et al.*, 2012; Peralta *et al.*, 2013). Por lo tanto, como la demanda y la oferta de este nutriente varían a lo largo del año (Echeverría & Bergonzi, 1995; Agnusdei *et al.*, 2010), lo que provoca que la variabilidad espacial de la producción de forraje también puede cambiar temporalmente, es necesario, para delimitar en gramíneas templadas ZMP de manera confiable, evaluar el uso de la CEa en



diferentes condiciones nutricionales y épocas del año.

La información disponible sobre la relación de la CEa con características edáficas y en consecuencia con la productividad de pasturas o pastizales se ha incrementado en los últimos años (Serrano et al., 2010; Vogel et al., 2019). En la región pampeana, la misma es abundante para suelos de aptitud agrícola (Simón et al., 2013; Peralta et al., 2013). Sin embargo, el uso de la CEa en suelos de aptitud ganadera es escaso. Por lo tanto, los objetivos de este trabajo fueron (a) determinar la relación entre CEa y propiedades edáficas para delimitar ZMP en un suelo característico de la pampa deprimida y (b) evaluar si estas zonas se relacionan con la producción de forraje de una pastura de festuca alta [*Lolium arundinaceum* (Schreb.) Darbysh., originariamente *Festuca arundinacea* (Schreb.)] creciendo, con y sin limitantes de N, durante rebrotes primaverales y otoñales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el partido de Ayacucho, en un lote de 5,75 ha ($37^{\circ} 5' 8''\text{S}$ y $57^{\circ} 52' 58''\text{O}$) que tenía implantada una pastura de festuca alta y donde predomina la serie de suelo Chelforó (Natracualf vertico) (INTA- CIRN, 2019).

La sonda Veris 3100 (Veris 3100, Division of Geoprobe Systems, Salina, KS) fue calibrada y remolcada por el lote aproximadamente a 15 km h^{-1} en transectas paralelas separadas entre sí 15 m dado que distancias mayores a 20-25 m generan errores de esti-

mación y pérdida de información (Farahani & Flynn, 2007; Paggi et al., 2013).

En su unidad de almacenamiento se guardaba la CEa (mS m^{-1}) a razón de un dato por segundo. Mediante un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS) (Trimble R3, Trimble Navigation Limited, USA) se registraba la latitud y longitud al momento de la medición de cada dato. La sonda Veris 3100 mide la CEa en dos estratos: 0-30 y 0-90 cm de profundidad. En este trabajo solo se utilizó la CEa de 0-30 cm.

Para describir la variabilidad espacial de la CEa se utilizó la geoestadística. El primer paso fue confeccionar el semivariograma experimental, función básica que describe y cuantifica la dependencia espacial de una variable, es decir, su autocorrelación espacial. A continuación, se procedió al ajuste de un modelo teórico para describir esa variabilidad. Finalmente se realizó la predicción en puntos, dentro del lote, donde no se tomaron muestras mediante el método de interpolación kriging ordinario, obteniendo como resultado una superficie continua (mapa) de la CEa. Para la realización de cada uno de los pasos anteriormente mencionados se utilizó la herramienta Geostatistical Analyst del software ArcGIS 10.2 (Environmental System Research Institute, Redlands, CA).

Por otra parte, en el sitio experimental, se estableció una grilla de 30 x 30 m y se georreferenciaron 43 áreas de muestreo (AM) de 4 m^2 (**Figura 1**). En cada AM se tomaron muestras de suelo, compuestas por tres submuestras, hasta los 30 cm de profun-



idad. Las mismas fueron separados en dos estratos (0-15 y 15-30 cm de profundidad) y secadas en estufa con circulación de aire forzada a una temperatura de 30° C. Posteriormente, se molieron y se tamizaron hasta pasar por una malla de 2 mm. En cada muestra, se determinaron el pH (relación suelo: agua 1:2,5), la textura por el método de la pipeta de Robinson, separando la muestra en tres fracciones granulométricas: arcilla, limo y arena (Gee & Bauder, 1986) y el contenido de humedad gravimétrica (%) a 33 y 1500 kPa de tensión mátrica en ollas de presión. El contenido de humedad gravimétrica a cada tensión considerada se determinó a partir de tres submuestras de 20 g de suelo seco saturadas. Por otra parte, a partir de cada muestra, se elaboró una pasta saturada de suelo. La misma fue filtrada y en

el extracto se determinó la conductividad eléctrica del extracto (CEe), con un equipo Thermo Orion modelo 150 Aplus. El Na⁺ soluble se determinó con fotómetro de llama Corning Photometer 410 y el Ca⁺² y el Mg⁺² solubles con un espectrofotómetro de absorción atómica Shimadzu AA-6200. Con los datos de Na⁺, Ca⁺² y Mg⁺² solubles se calculó la relación de absorción de Na (RAS) a partir de la siguiente ecuación:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\left(\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}\right)}}$$

Finalmente, una fracción de cada muestra fue nuevamente tamizada hasta pasar por una malla de 0,5 mm para la determinación de MO (Walkley & Black, 1934).

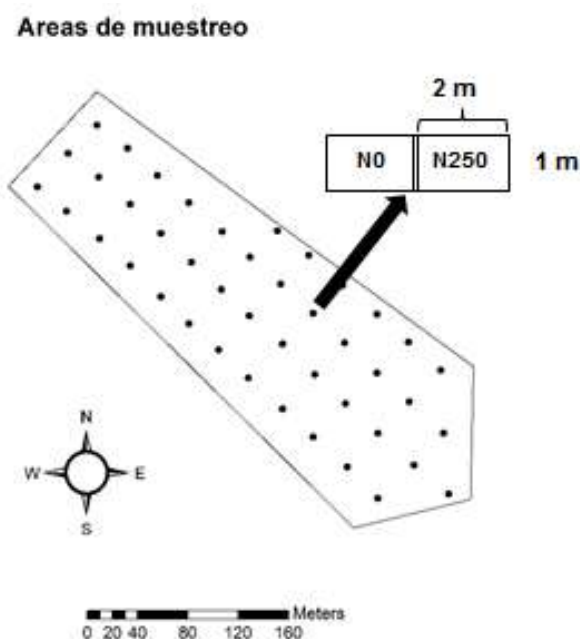


Figura 1. (●) Áreas de muestreo (AM) georeferenciadas en el sitio experimental Ayacucho. Cada AM fue dividida en dos unidades experimentales donde se aplicaron los tratamientos de fertilización.
Figure 1. (●) Sampling areas (AM) georeferenced georeferenced at the Ayacucho experimental site. Each AM was divided into two experimental units where the fertilization treatments were applied.

La identificación de las propiedades edáficas que se relacionaron con la CEa se efectuó mediante análisis de regresión múltiple (PROC STEPWISE; SAS Institute Inc., 2007). Para ajustar esta regresión se calculó, usando la herramienta Buffer 3D Analyst Tools de ArcGIS 10.2. (*Environmental System Research Institute, Redlands, CA*) el promedio de CEa alrededor de cada AM (15 m). Una vez definido el modelo de regresión el mismo se simplificó a no más de dos propiedades edáficas independientes para minimizar el cuadrado medio del error y así facilitar su interpretación.

En el mapa de CEa realizado anteriormente se delimitaron de dos a cuatro ZMP con la herramienta Geostatistical Analyst de ArcGIS 10.2. (*Environmental System Research Institute, Redlands, CA*). Los valores y amplitud de las zonas fueron obtenidos mediante la clasificación de los datos en cuantiles (Peralta *et al.*, 2013). Con las ZMP como tratamientos y las AM como repeticiones se realizaron los análisis de varianza (ANVA) correspondientes a las propiedades de suelo definidas como las más significativas en la regresión múltiple. Los análisis estadísticos se realizaron con el PROC GLM (SAS Institute, 2007). Para establecer el número óptimo de ambientes se procedió a seleccionar la menor cantidad de ZMP con diferencias significativas ($P < 0,05$) para las variables analizadas.

En cada AM se marcaron dos unidades experimentales (UE) apareadas de 1 x 2 m (**Figura 1**), donde se realizó, al inicio de cua-

tro rebrotes: primavera 2015, otoño 2016, primavera 2016 y otoño 2017, un corte de emparejamiento a 3 cm de altura y la aplicación de dos tratamientos: N0 (sin aplicación de N) y N250 (250 kg ha⁻¹ de N, considerado sin limitantes). Las UE recibieron, en todos los rebrotes, 30 kg ha⁻¹ de fósforo para evitar déficits de este nutriente. Transcurridos 350-400 °Cd (temperatura base: 4°C) el forraje verde (FV) acumulado de cada UE fue cortado, pesado en el campo y del mismo se extrajo una submuestra para determinar el porcentaje de materia seca (% MS). La biomasa seca acumulada (BA), expresada en kg MS ha⁻¹, se estimó a partir del FV y el %MS y se calculó el promedio de la misma para cada estación de crecimiento (primavera y otoño)

Para cada rebrote se realizó el cálculo de un balance hídrico promedio del lote utilizando un modelo aportado por la Cátedra de Agrometeorología de la FCA-UNMdP. Los datos utilizados fueron la evapotranspiración (ETP) diaria, la precipitación diaria y el coeficiente de cultivo promedio de una pastura que no acumula más de 500 °Cd. El mismo fue estimado en 0,95 (Della Maggiora, comunicación personal). Para los balances se consideró, en función de la clasificación de suelos del sitio experimental y de la profundidad de exploración de las raíces (Doll y Deregibus, 1986), una profundidad efectiva promedio de 0,40 m. La capacidad de retención de agua disponible promedio del suelo fue estimada a partir de la textura.

La BA promedio de cada estación de crecimiento se comparó mediante un ANVA



donde fueron testeados el efecto de las ZMP anteriormente delimitadas, el N y la interacción entre estos factores (ZMP x N). Este análisis estadístico se realizó con el PROC MIXED (SAS Institute, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las **Tabla 1** se presentan las estadísticas resumen de las propiedades físico-químicas evaluadas del sitio bajo estudio. De acuerdo a la clasificación propuesta en

Wilding et al. (1994), la variabilidad de la mayoría de las propiedades edáficas fue media [i.e. 15% < coeficiente de variación (CV) < 35%] o alta (i.e. CV > 35%), excepto en la MO y el pH, donde el CV promedio hasta los 30 cm de profundidad fue 15 y 9,8% respectivamente. Por lo tanto, los CV hallados, indicarían una variabilidad espacial lo suficientemente amplia como para delimitar ambientes (Moral et al., 2010).

Tabla 1. Valor promedio (Prom), desvío estándar (Desv), coeficiente de variación en porcentaje (CV), máximo (Max) y mínimo (Min) de diferentes propiedades físicoquímicas del suelo.

Table 1. Summary statistics of soil physicochemical properties. Average values (Prom), standard desvest (Desv) coefficient of variation (CV), maximum (max) and minimum (min).

Propiedad del suelo	Profundidad (cm)	Prom	Desv	CV (%)	Max	Min
MO (%)	0-15	5,9	0,8	13,4	8,0	4,5
	15-30	3,1	0,5	16,6	4,1	2,2
pH	0-15	7,2	0,7	10,0	9,0	6,2
	15-30	8,2	0,7	8,5	9,5	6,7
CEe (dS m ⁻¹)	0-15	3,4	2,3	67,7	7,2	0,8
	15-30	4,9	2,7	55,4	8,9	0,8
Humedad gravimétrica (%) a 0,33 kPa de tensión mátrica	0-15	33,2	3,8	11,6	40,3	27,4
	15-30	40,8	9,1	22,3	56,9	26,7
Humedad gravimétrica (%) a 1500 kPa de tensión mátrica	0-15	14,0	4,2	29,9	31,0	9,6
	15-30	19,1	5,7	29,9	27,5	8,9
Arcilla (%)	0-15	21,4	2,7	12,5	26,9	17,6
	15-30	35,9	9,4	26,1	51,2	20,9
Arena (%)	0-15	45,5	5,1	11,3	56,3	33,7
	15-30	39,1	5,8	14,7	49,9	29,8
Limo (%)	0-15	33,0	4,9	15,0	41,4	25,7
	15-30	24,9	5,8	23,3	36,8	15,8
RAS	0-15	8,9	4,8	53,7	20,5	2,2
	15-30	19,9	9,0	45,3	43,1	5,3
Na ⁺ (mmol L ⁻¹)	0-15	18,5	13,8	74,7	46,5	2,8
	15-30	37,2	21,6	58,0	63,0	5,1

MO = materia orgánica. CEe = conductividad eléctrica del extracto. RAS = relación de absorción de sodio. El Na⁺ soluble se midió en extracto de pasta saturada.



En lo referido a la CEa, el semivariograma que mejor describió la variabilidad espacial fue el esférico (**Figura 2a**) ya que fue el modelo que presentó el R^2 más alto y el cuadrado medio del error más bajo (datos no mostrados). El rango de dependencia espacial de la CEa fue de 99 m (**Figura 2a**) posiblemente por cambios paulatinos en las propiedades edáficas en el sitio experimental bajo estudio.

En la **Figura 2b** se presenta el mapa de distribución espacial de CEa obtenido por kriging ordinario. El CV de este parámetro fue elevado (82,3%). Esto sugiere que la CEa podría usarse para detectar variabilidad edáfica como ha sido mencionado en trabajos realizados en suelos de aptitud agrícola (Peralta *et al.*, 2013) y ganadera (Cicore *et al.*, 2015; Peralta *et al.*, 2015) de la pampa húmeda. En este sentido, en el análisis de regresión múltiple, se determinó que la CEe y el porcentaje de arena, promedio hasta los 30 cm de profundidad, fueron las propiedades de suelo que se relacionaron significativamente con la CEa ($R^2 = 0,67$; $P < 0,01$ y $0,04$ respectivamente) (**Figura 3**). Este comportamiento se debe a que la CEe es un estimador de la concentración de sales de un suelo (Rysan & Sarec, 2008) y estas afectan considerablemente la medición de la CEa debido a que la capacidad de conducir la corriente eléctrica depende de la cantidad de iones que se encuentran en la solución del

suelo (Peralta & Costa, 2013). Por otra parte, el contenido de arena en el suelo afecta la medición de la CEa porque a medida que los mismos son más elevados, el contacto entre partículas de suelo y el número de poros continuos llenos de agua es menor. Por lo tanto, la capacidad de conducir la corriente eléctrica, y en consecuencia el valor de la CEa, se reducen (Rhoades *et al.*, 1989).

A su vez estas propiedades edáficas, relacionadas a la medición de la CEa, podrían influir en la producción de forraje. La CEe, cuando es elevada, provoca un incremento del potencial osmótico de la solución del suelo en la zona radical (Vásquez *et al.*, 2001). En consecuencia, las plantas deben destinar parte de sus recursos al ajuste del potencial osmótico de sus raíces, disminuyendo la cantidad de asimilados destinados al crecimiento. Asimismo, a mayor porcentaje de arena en el suelo, el efecto negativo provocado por el exceso de Na (pérdida de estructura, la cual afecta la disponibilidad de agua y por ende el crecimiento), se reduce. Esto se debe a la menor carga en la superficie de la arena y menor superficie específica respecto a la arcilla y el limo, lo que determina que este tamaño de partícula no interactúa con el Na generándose así, un efecto amortiguador de la dispersión de los agregados (Oster *et al.*, 1980).



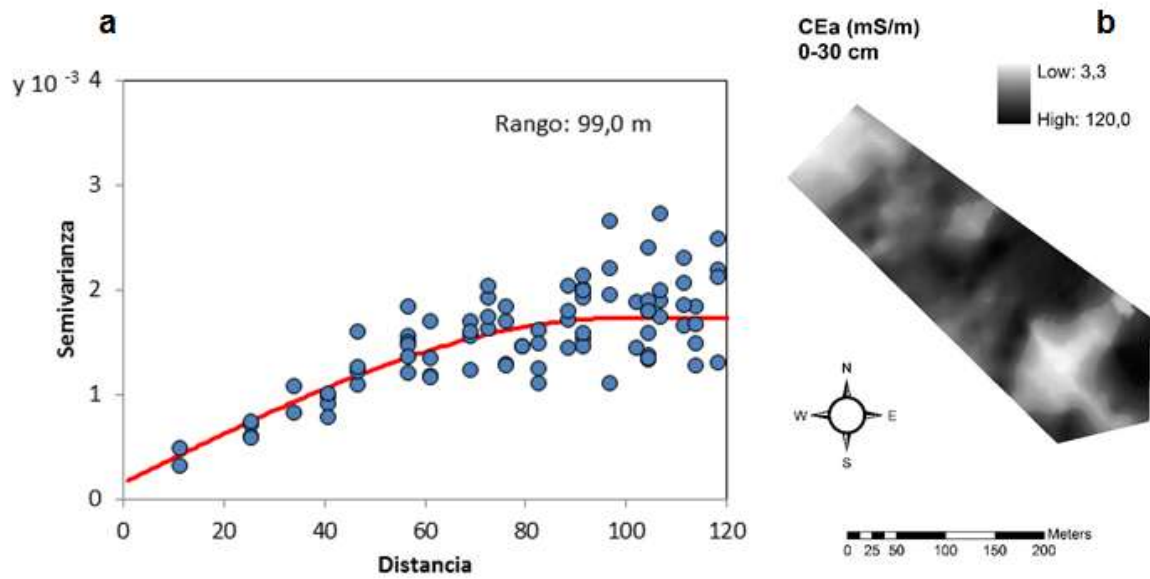


Figura 2. (a) Semivariograma experimental (●) y teórico (—) de la conductividad eléctrica aparente (CEa) medida hasta los 30 cm de profundidad. (b) Mapa de distribución espacial de la CEa.
Figure 2. Experimental (●) and theoretical (—) semivariogram model for apparent electrical conductivity (CEa) at 0.30-m depth. (b) CEa map.

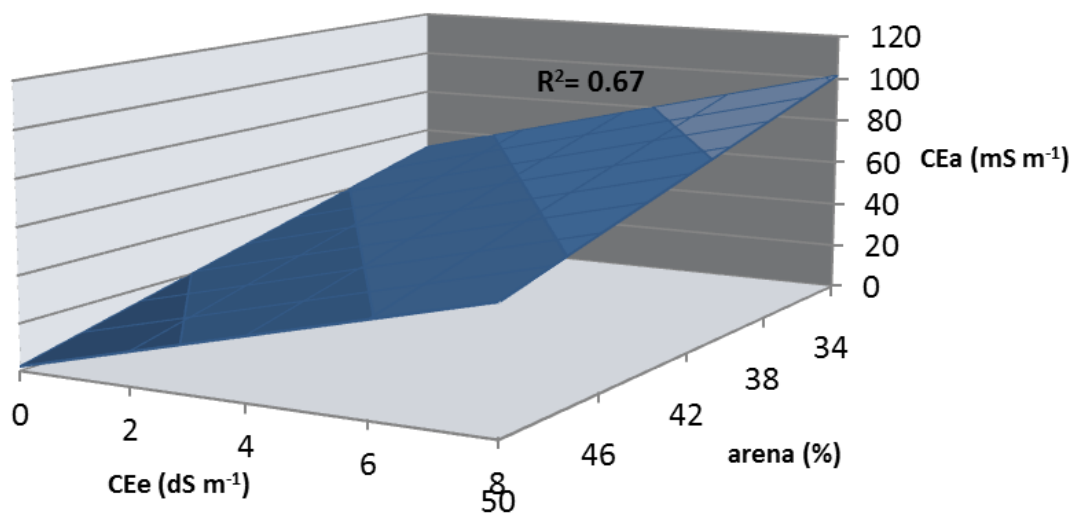


Figura 3. Modelo predictivo de la conductividad eléctrica aparente (CEa) medida hasta los 30 cm de profundidad. Modelo predictivo: Intercepto: 156,1; CEe: 6,2 y porcentaje de arena: -2,8
Figure 3. Predictive model for apparent electrical conductivity (CEa) at 0.30 m depth. Intercept parameter 156,1; CEe: 6,2 and sand percentage: -2,8.

Para determinar diferencias significativas entre las ZMP se realizó un ANVA a la BA promedio de cada estación de crecimiento. Se utilizaron sólo dos rangos de CEa: zona de baja CEa (ZB) y zona de alta CEa (ZA) para delimitar ZMP debido a que, con esta cantidad de ambientes, se determinaron

diferencias significativas entre zonas ($P < 0,05$) en los parámetros edáficos que explicaron la variabilidad de la CEa (CEe y porcentaje de arena) (**Figura 4**). En cambio, con tres o cuatro ambientes no se hallaron diferencias significativas en alguna de estas propiedades edáficas (datos no mostrados).



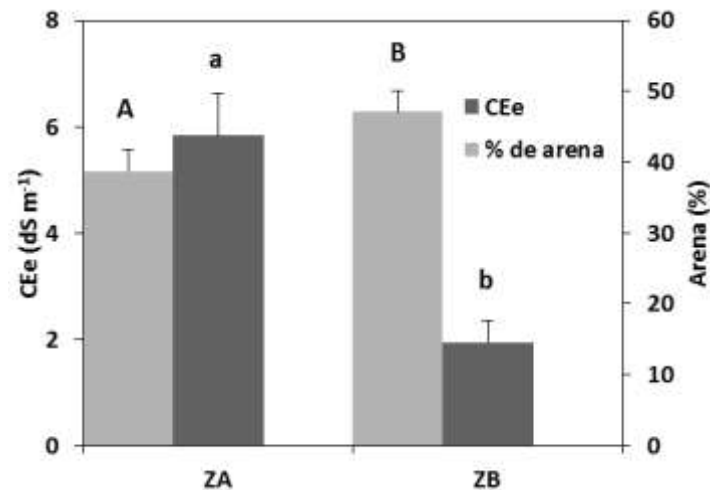


Figura 4. Promedio y desvío estándar de la conductividad eléctrica del extracto (CEe) (0-30 m de profundidad) y el porcentaje de arena (0-30 m de profundidad) para dos zonas de manejo potenciales (ZMP): zona de baja CEa (ZB) y zona de alta CEa (ZA). Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre ZMP en la CEe (minúsculas) y el porcentaje de arena (mayúsculas).

Figure 4. Average values and standard deviation of electrical conductivity of soil saturation paste extract (CEe) at 0.30 m depth and sand percentage at 0.30 m depth for two potential management zones (ZMP): low CEa zone (ZB) and high CEa zone (ZA). Different letters indicate significant differences between ZMP ($P < 0.05$) for CEe (lower case letters) and sand percentage (upper case letters).

En primavera se determinó interacción significativa entre tratamientos de fertilización y zonas (**Tabla 2**; $P < 0,05$). Con el agregado de N, la ZB mostró una acumulación de forraje mayor que la ZA, mientras que en el tratamiento N0 fueron detectadas menores diferencias significativas (**Tabla 2**). Estos resultados pueden deberse a que la respuesta a N depende de la disponibilidad de agua en el perfil del suelo (Errecart *et al.* 2014), la cual cambia espacialmente ya que está asociada a la variabilidad edáfica y topográfica (Cicore *et al.*, 2015). Además, en esta estación de crecimiento se registró efecto significativo del N (**Tabla 2**; $P < 0,05$) por la baja disponibilidad de formas asimilables de N durante esta época del año (Echeverría & Bergonzi, 1995) y efecto significativo de la

ZMP (**Tabla 2**; $P < 0,05$). Por otra parte, la permanencia de la variabilidad a través del tiempo, hallada en primavera (datos no mostrados), facilitaría la aplicación de tecnologías de manejo por ambientes (Xu *et al.*, 2006). Esto resulta relevante puesto que durante esta época del año, en la pampa deprimida, se concentra el 60-70% del forraje producido anualmente.

En otoño las pasturas presentan menores tasas de crecimiento que en primavera, debido a la menor cantidad de radiación incidente en esta época del año (Tancredi, 2016), lo que determina menores respuestas al suministro de N (Marino & Agnusdei, 2007). Sin embargo, en esta experiencia se determinó, sobre la BA de la pastura, efecto significativo de la aplicación de N en esta estación de crecimiento (**Tabla 2**),

coincidiendo con lo reportado por Fernández Grecco (2013). Esta respuesta a N podría haber sido producto del adecuado suministro de agua para el crecimiento de las pasturas durante gran parte del rebrote otoño 2016 y durante todo el rebrote otoño 2017 (**Figura 5c y 5d**).

Por otra parte, este comportamiento en el balance hídrico de los dos rebrotes otoñales, que no fue determinado en los rebrotes

primaverales (**Figuras 5a y 5b**), habría minimizado las diferencias de agua disponible entre ZMP en otoño. Por ello, y dado que la humedad edáfica es el principal factor limitante del crecimiento de las plantas en regiones templadas (Fraisse *et al.*, 2001), no se registró interacción entre los factores de tratamiento ni efecto significativo de la ZMP sobre la BA (**Tabla 2**; $P > 0,05$).

Tabla 2. Biomasa acumulada promedio (BA) en una pastura de festuca alta creciendo en primavera (PRIM) y otoño (OTO) para dos tratamientos de fertilización: N250 y N0 y dos zonas de manejo potenciales (ZMP): zona de baja CEa (ZB) y zona de alta CEa (ZA).

Table 2. Accumulated biomass (BA) of tall fescue pasture growing in spring (PRIM) and in autumn (OTO) regrowth periods for two nitrogen treatments: N0 and N250 and two potential management zones (ZMP): low CEa zone (ZB) and high CEa zone (ZA).

		BA (kg MS ha⁻¹)	
		PRIM	OTO
N250	ZB	2431a	1985
	ZA	1485b	1568
N0	ZB	1183a	1128
	ZA	711b	860
Medias	N0	938	989
	N250	1939	1768
	ZB	1098	1557
	ZA	1807	1214
Fuente de variación		ANVA	
N		**	**
ZMP		**	ns
ZMP x N		*	ns

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre ZMP cuando hubo interacción entre los factores de tratamiento. Test diferencia mínima significativa (DMS).

**P < 0,01; *P < 0,05, ns: no significativo.



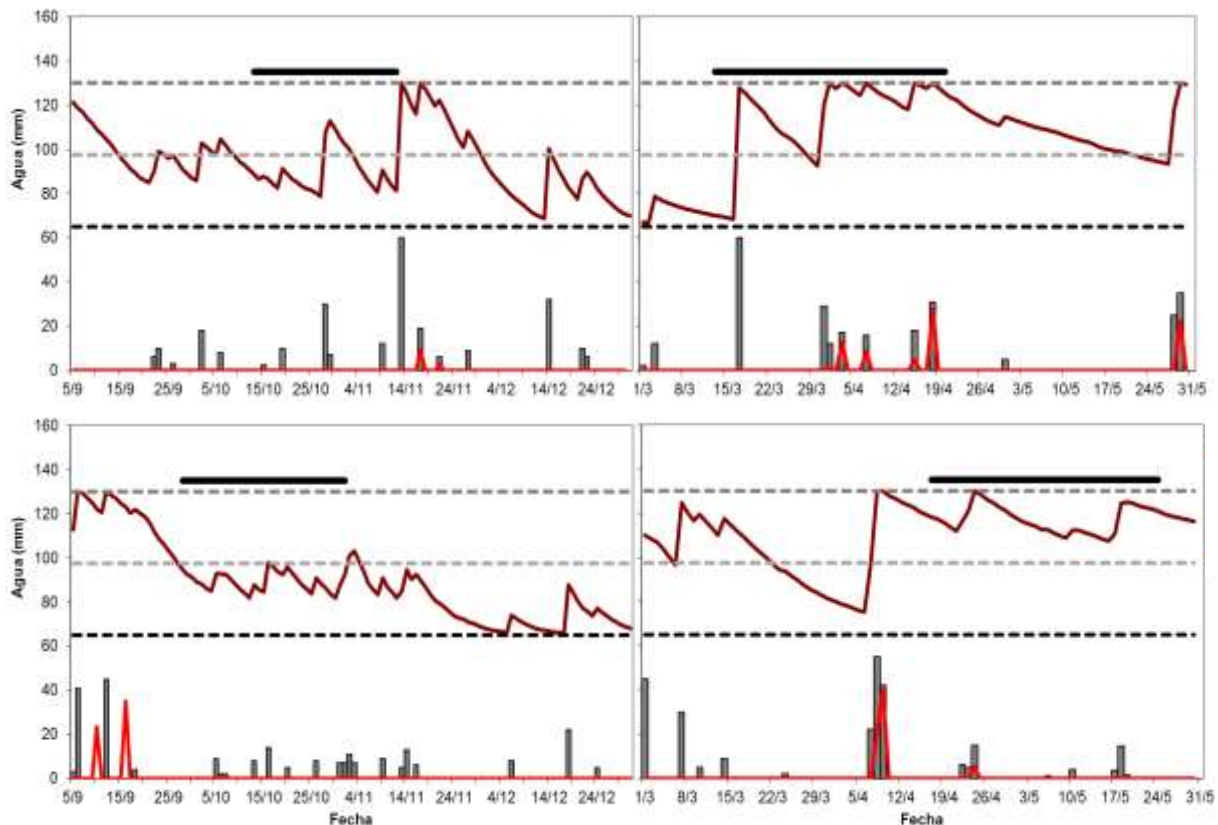


Figura 5. Balances de agua durante (a) primavera 2015, (b) primavera 2016, (c) otoño 2016 y (d) otoño 2017. (—) Variación de agua en el suelo, (—) excesos hídricos, (■) precipitaciones, capacidad de almacenaje de agua del suelo máxima (---), mínima (---) y del 50% (---). Las barras negras horizontales indican la duración de los periodos experimentales.

Figure 5. Water balance during (a) spring 2015, (b) spring 2016, (c) autumn 2016 and (d) autumn 2017. (—) soil moisture change, (—) water excesses, (■) precipitations, soil moisture storage (---) maximum, (---) minimum and (---) of the 50%. The horizontal black bars indicate the duration of the experimental periods.

CONCLUSIONES

En el sitio experimental bajo estudio la CEa se relacionó con propiedades edáficas relevantes para la producción de forraje. Además, ambientes delimitados a partir de la CEa mostraron diferencias en la producción de pasto durante la primavera independientemente de la disponibilidad de N. Por otra parte durante los rebrotes otoñales no fue posible delimitar ambientes de manera confiable. Son necesarias futuras investigaciones debido a que este experimento fue realizado en un solo sitio experimental que no representa la totalidad

de los suelos característicos de la pampa deprimida.

BIBLIOGRAFÍA

- Agnusdei, MG; SG Assuero; FA Lattanzi & MA Marino,. 2010. Critical N concentration can vary with growth conditions in forage grasses: implications for plant N status assessment and N deficiency diagnosis. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 88:215-230.
- Bullock, DS & DG Bullock. 2000. From agronomic research to farm management guidelines: A primer on the economics of information and precision technology. *Precis. Agric.* 2:71-101.
- Cicore, PL; HR Sánchez; NR Peralta; M Castro Franco; VC Aparicio & JL Costa. 2015. Delimitación de ambientes edáficos en suelos de la

- pampa deprimida mediante la conductividad eléctrica aparente y la elevación. *Cienc. Suelo*. 33:135-146
- Corwin, DL & SM Lesch. 2005. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity: Part II. Case study. *Comp. Electron. Agric.* 46:135-152.
- Doll, UM & VA Deregibus. 1986. Efecto de la exclusión del pastoreo sobre el sistema subterráneo de un pastizal templado húmedo. *Turrialba* 36: 337-344.
- Echeverría, HE & R Bergonzi. 1995. Estimación de la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste bonaerense. CERBAS. INTA, EEA Balcarce. Boletín Técnico N°135. 15p.
- Environmental System Research Institute. ArcGis 10.2. Disponible en: <http://www.esri.com/>. Fecha último acceso: 18/11/16.
- Errecart, PM; MG Agnusdei; FA Lattanzi; MA Marino & G Berone. 2014. Critical N concentration declines with soil water availability in Tall Fescue. *Crop Sci.* 54:1-13.
- Farahani, HJ & RL Flynn. 2007. Map Quality and Zone Delineation as affected by Width of Parallel Swaths of Mobile Agricultural Sensors. *Biosyst. Eng.* 96: 151-159.
- Fernández Grecco, RC. 2013. Dinámica del crecimiento de una pastura de agropiro alargado de acuerdo con la época de fertilización nitrogenada. *RIA*. 39: 162-168.
- Fraisse, CW; KA Sudduth & NR Kitchen. 2001. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. *Transactions of the ASAE* 44:155-166.
- Gee, GW & JW Baudert. 1986. Particle size analyses. In Klute, A (Ed.). *Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods*. Agron. Man nro. 9 2º ed. Am. Soc. of Agron. SSSA. 383-411.
- Heil, K & U Schmidhalter. 2012. Characterization of soil texture variability using the apparent soil electrical conductivity at a highly variable site. *Comput. Geosci.* 39:98-110.
- INTA. CIRN. Instituto de suelos. 2019. Hoja 3757-20-1 "Las Armas" Provincia de Buenos Aires, 4 fotocartas, escala 1:50000. Disponible en: http://anterior.inta.gov.ar/suelos/cartas/3757/Las_Armas/index.htm. Fecha último acceso: 10/06/19.
- King, J; P Dampney; R Lark; H Wheeler; R Bradley & T Mayr. 2005. Mapping potential crop management zones within fields: use of yield-map series and patterns of soil physical properties identified by electromagnetic induction sensing. *Precis. Agric.* 6:167-181.
- Kuang, B; HS Mahmood; MZ Quraishi; WB Hoogmoed; AM Mouazen & EJ Van Henten. 2012. Sensing soil properties in the laboratory, in situ, and on-line: A review. *Adv. Agron.* 114:155-223.
- Marino, MA & MG Agnusdei. 2007. Manejo estacional del suministro de nitrógeno en pasturas de Festuca arundinacea Scrb. (sudeste bonaerense, Argentina): Crecimiento y eficiencia en el uso de recursos. Actas de la XX Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA) - XXX Reunión Asociación Peruana de Producción Animal (APPA). Cusco, Perú, octubre 21-25.
- Moral, FJ; JM Terrón & JR Marques da Silva. 2010. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil & Tillage Res.* 106:335-343.
- Oster, JD; I Shainberg & JD Wood. 1980. Flocculation value and gel structure of Na/Ca montmorillonite illite suspensions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:955-959.
- Paggi, M; NR Peralta; M Calandroni; F Cabria; JL Costa & V Aparicio. 2013. Identificación de series de suelos mediante el uso de sensores de conductividad eléctrica aparente en el sudeste bonaerense. *Cienc. Suelo* 31:175-188.
- Peralta, NR & JL Costa. 2013. Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. *Comp. Electron. Agric.* 99:218-226.
- Peralta, NR; JL Costa; M Balzarini & H Angelini. 2013. Delineation of management zones with measurements of soil apparent electrical conductivity in the southeastern pampas. *Can. J. Soil Sci.* 93:205-218.
- Peralta, NR; PL Cicore; MA Marino; JR Marques da Silva & JL Costa. 2015. Use of soil electrical conductivity as predictor for the edaphic properties



- variability in extensive livestock production systems of the southeast of the Buenos Aires Province, Argentine. *Span J Agric Res.* 13: e1103.
- Rhoades, JD; NA Manteghi; PJ Shouse & WJ Alves. 1989. Soil electrical conductivity & soil salinity: New formulations & calibrations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:433-439.
- Rhoades, JD; PA Raats & RJ Prather. 1976. Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:651-655.
- Rysan, L & O Sarec. 2008. Research of correlation between electric soil conductivity and yield based on the use of GPS technology. *Res. Agr. Eng.* 54:136-147.
- Sanches, GM; PSG Magalhães; AZ Remacre; & H Franco. 2018. Potential of apparent soil electrical conductivity to describe the soil pH and improve lime application in a clayey soil. *Soil Till. Res.* 175:217-225.
- SAS Institute INC. 2007. SAS/STAT-JMP Users Guide. Release 7. Cary, NC, USA. pp. 506.
- Serrano, J; J Peca; J Marques da Silva & S Shaidian. 2010. Mapping soil and pasture variability with an electromagnetic induction sensor. *Comp. Electron. Agric.* 73:7-16.
- Simón, M; NR Peralta & JL Costa. 2013. Relación entre la conductividad eléctrica aparente con propiedades del suelo y nutrientes. *Cienc. Suelo.* 31:45-55.
- Tancredi, JM. 2016. Respuesta al suministro de nitrógeno en agropiro alargado en función de zonas de manejo delimitadas mediante la conductividad eléctrica aparente. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce. 32 p.
- Trimble Navigation Limited. Disponible en: <http://www.trimble.com> Fecha último acceso: 10/06/17.
- Vásquez, PM; JL Costa; G Monterubbianesi & P Godz. 2001. Predicción de la productividad primaria de pastizales naturales de la pampa deprimida utilizando propiedades del horizonte A. *Cienc. Suelo.* 19:136-143.
- Veris Technologies. Frequently asked questions about soil electrical conductivity. Disponible en: <http://www.veristech.com> Fecha último acceso: 10/09/18.
- Vogel, S; R Gebbers; M Oertel & E Kramer. 2019. Evaluating soil-borne causes of biomass variability in grassland by remote and proximal sensing. *Sensors.* 20: 4593.
- Walkley, A & IA Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.
- Wilding, LP; J Bouma & DW Goss. 1994. Impact of spatial variability on interpretive modeling. In: *Quantitative modeling of soil forming processes; Bryant RB & RW Arnold (Eds).* pp: 61-75. SSSA Spec. Publ. 39. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, USA.
- Xu, HW; K Wang; J Bailey; C Jordan & A Withers. 2006. Temporal stability of sward dry matter and nitrogen yield patterns in a temperate grassland. *Pedosphere.* 16:735-744.

