

Utilización de la conductividad eléctrica aparente y la elevación para delimitar ambientes edáficos en suelos ganaderos

P.L. Cicore^{1*}, H.R. Sánchez², N.R. Peralta^{2,3}, V. Aparicio¹, F.M. Castro¹, y J.L. Costa^{1,2}

Introducción

La región pampeana reúne características edafoclimáticas que la convierte en una de las áreas de mayor productividad agrícola del mundo. Por ello, casi toda la superficie está sembrada con cereales y oleaginosas. Sin embargo, en el centro-este de esta región, en la provincia de Buenos Aires, se extiende una subregión poco apta para la agricultura denominada Pampa Deprimida (Rodríguez y Jacobo, 2012). En esta área predominan suelos que se caracterizan por una serie de restricciones que afectan el crecimiento de los cultivos (mal drenaje, anegamientos, alcalinidad, salinidad, etc.) (Taboada et al., 1999). Por ende, suelen destinarse a la producción pecuaria en base a pastizales naturales o pasturas implantadas.

El incremento de la productividad en los suelos de la Pampa Deprimida puede lograrse mediante algunas prácticas de manejo como la aplicación de correctivos químicos (Costa y Godz, 1999), la adecuada fertilización (Agnusdei et al., 2010) o la implantación de la especie mejor adaptada a cada condición edáfica. Para ello, es necesario conocer las potencialidades y limitaciones de los mismos. Sin embargo, estos suelos presentan una elevada heterogeneidad espacial en sus propiedades edáficas (Taboada et al., 1998). En este contexto, una alternativa podría ser la incorporación de las técnicas de manejo por ambientes (MA). En agricultura, para determinar la variabilidad de los factores de suelo que afectan el rendimiento se han descripto varios métodos. La medición geoespacial de la conductividad eléctrica aparente del suelo (CEa), ha sido una de las herramientas más utilizadas (Moral et al., 2010; Peralta y Costa, 2013). Este parámetro es influenciado por propiedades de suelo como la disponibilidad de agua (Hossain et al., 2010) la salinidad (Rhoades et al., 1976), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Kitchen et al., 2005), el pH (Serrano et al. 2010) y la materia orgánica (MO) (Corwin y Lesch, 2005).

La información disponible sobre la relación de la CEa con características edáficas es muy abundante para suelos de aptitud agrícola donde se establecen cultivos con destino a cosecha (Kitchen et al., 2005; Corwin y Lesch, 2005; Moral et al., 2010). Sin embargo, el uso de este parámetro en suelos de aptitud ganadera es escaso. Serrano et al. (2010) y (2013) hallaron correlaciones positivas y significativas entre pH y CEa, y entre la producción de biomasa de una pastura consociada y la

CEa, respectivamente. Hossain et al. (2010) observaron una relación entre este parámetro y el contenido de humedad en un suelo que tenía implantada una pastura naturalizada, y Guretzky et al. (2008) utilizaron la CEa para determinar el patrón espacial de distribución de leguminosas dentro de una pastura mixta debido a que, esta especie, se ubica en las áreas de mayor disponibilidad hídrica y menor pH.

En concordancia con la literatura internacional, para la región pampeana, la mayoría de los trabajos donde se utilizó la CEa para predecir características edáficas han sido realizados en lotes de aptitud agrícola, Peralta et al. (2011) y (2013a) observaron, en el sudeste Bonaerense, que la CEa tiene una elevada correlación con la conductividad eléctrica del extracto (CEe) y la humedad del suelo respectivamente. En el mismo sentido, Paggi et al. (2013) y Bosch Mayol et al. (2012) determinaron una estrecha asociación entre la CEa y la profundidad del suelo y el sodio soluble, respectivamente.

La relación existente entre las propiedades de suelo y la CEa permitiría delimitar ambientes edáficos en función de esta última variable. Existen diferentes técnicas para cumplir este objetivo. Una de las más utilizadas es el análisis de cluster mediante el cual cada punto de muestreo del lote es asignado a un conglomerado y estos pueden ser usados como zonas de manejo (Fridgen et al., 2004). Este tipo de análisis puede ser realizado a partir de una sola variable (univariado) o de varias (multivariado). Fraisse et al. (2001) indicaron que, la delimitación de áreas de manejo homogéneo, puede realizarse en función de la topografía y la CEa. En la Pampa Deprimida si bien el paisaje se caracteriza por el relieve plano se pueden distinguir diversos ambientes edáficos determinados por la posición topográfica (Batista et al., 2005). Además, la topografía determina el flujo y acumulación del agua (Pachepsky et al., 2001). Por esto, la elevación del terreno podría ser un importante factor para la caracterización de ambientes en esta región.

Si bien en suelos de aptitud ganadera de la región pampeana existen algunos trabajos que relacionan la CEa con parámetros edáficos para caracterizar ambientes con el objetivo de aplicar dosis variables de enmiendas calcáreas (Gambaudo et al., 2010), la información existente en suelos ganaderos de la Pampa Deprimida, es nula. Por lo tanto, los objetivos de este trabajo fueron: i) relacionar propiedades de suelo con la CEa, y ii) evaluar

¹ EEA INTA Balcarce

² Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Mar del Plata (FCA-UNMDP)

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

* Autor de contacto. Correo electrónico: cicore.paboleandro@inta.gov.ar

la posibilidad de utilizar la CEa con o sin la inclusión de la elevación del terreno para determinar ambientes edáficos en suelos ganaderos de la Pampa Deprimida.

Materiales y métodos

Sitios experimentales

La experiencia se realizó en dos lotes de aptitud ganadera ubicados en el partido de General Madariaga denominados: Del Maestro (37° 17' 48,2" S; 57° 19' 53,6" O) y Haudini (37° 18' 25,5" S; 57° 21' 42,7" O). En la **Tabla 1** se describen la superficie, las series de suelo y la clasificación de los suelos de los lotes bajo estudio (INTA, 2014).

Medición de la Conductividad Eléctrica Aparente y elevación del terreno

La CEa se midió utilizando el EM38 (Geonics Limited, 2003) y la elevación del terreno mediante un DGPS (Trimble Navigation Limited, 2008). La medición de la CEa se realizó hasta los 50 cm de profundidad. Para ello, el EM38 fue calibrado según las instrucciones del manual y transportado por el lote en transectas paralelas distanciadas 20 m aproximadamente (Paggi et al., 2013).

Variabilidad espacial de la Conductividad Eléctrica Aparente (CEa)

Para interpolar la variabilidad espacial de la CEa y la elevación se utilizó la geoestadística (Isaack y Srivastava,

1989). El primer paso en la realización de los mapas de CEa fue determinar un semivariograma experimental. Luego, se procedió al ajuste de un modelo teórico para describir dicha variabilidad. Por último se realizó la predicción en puntos, dentro de los lotes, donde no se midieron estas variables mediante el método de interpolación ordinario. Para la realización de cada uno de los pasos anteriormente mencionados se utilizó el software ArcGIS 9.3.1 (Environmental Systems Research Institute, 2008). Los mapas de elevación se confeccionaron mediante la herramienta TIN del software ArcGIS 9.3.1 (Environmental Systems Research Institute, 2008).

Determinación de ambientes dentro de los lotes

En cada mapa de CEa y elevación se generó una grilla o retícula de 30x30 m, lo cual permitió trabajar a la misma escala para realizar la determinación de ambientes mediante el software Management Zone Analyst (MZA, Mizzou-ARS, 2000). Este programa realiza la división de ambientes mediante un análisis cluster (Fridgen et al., 2004). Para ello el MZA estimó dos parámetros: el índice de rendimiento difuso (FPI) y la clasificación entrópica normalizada (NCE) (Fridgen et al., 2004) El número óptimo de ambientes se determinó cuando ambos parámetros fueron mínimos, lo que representa menor grado de solapamiento y mayor cantidad de organización (Fridgen et al., 2004) El análisis de cluster se realizó utilizando solamente la CEa y la combinación

Tabla 1. Superficie, series, y clasificación de los suelos de los lotes bajo estudio (INTA, 2014).

Lote	Superficie, ha	Símbolo cartográfico	Series de suelo	Clasificación de suelo
Del Maestro	45	GP1	General Pirán (40%)	Natracualf Mólico
			Coronel Vidal (25%)	Natracuol Típico
			Las Armas (25%)	Natracuol Típico
			Suelos indiferenciados (10%)	
		CHj	El Chajá (40%)	Natracuol Típico
			General Pirán (30%)	Natracualf Mólico
			Estación Invernadas (20%)	Argiaucuel Abrúptico
			Santo Domingo (10%)	Natralbol Típico
		LRs3	Las Armas (40%)	Natracuol Típico
			Monsalvo (25%)	Argiudol Ácuico
			Coronel Vidal (25%)	Natracuol Típico
			Suelos indiferenciados (10%)	
Haudini	22	LRs3	Las Armas (40%)	Natracuol Típico
			Monsalvo (25%)	Argiudol Ácuico
			Coronel Vidal (25%)	Natracuol Típico
			Suelos indiferenciados (10%)	

Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires (1:50000) (INTA, 2014).

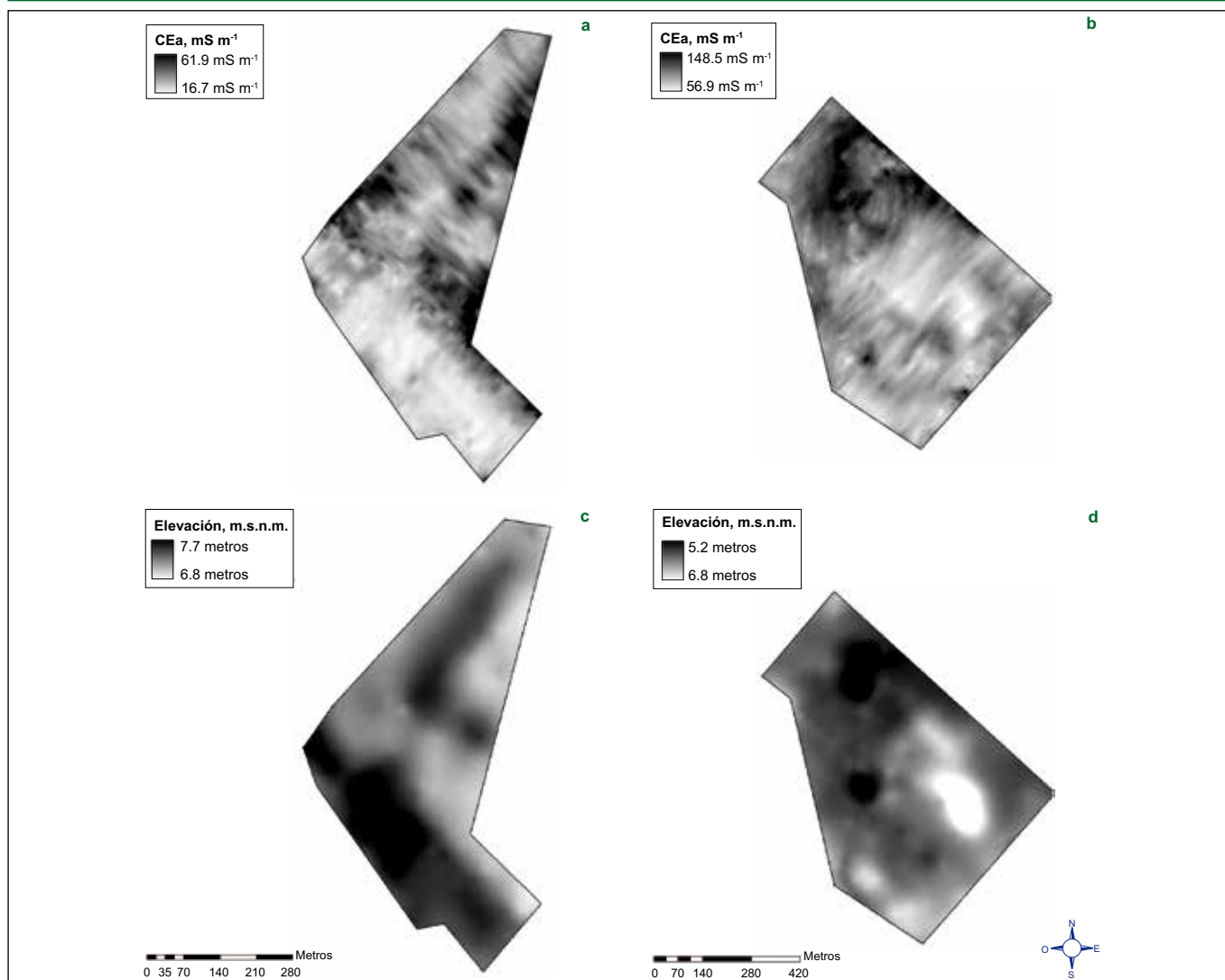


Figura 1. Mapas de conductividad eléctrica aparente (CEa) (a y b) y de elevación del terreno (c y d) en los lotes Haudini y Del Maestro, respectivamente.

de CEa y elevación. Mediante el software ArcGIS 9.3.1 (Environmental Systems Research Institute, 2008) se realizaron mapas dividiéndolos en la cantidad de zonas determinadas mediante el análisis de clúster multivariado. Los valores y amplitud de las zonas fueron obtenidos mediante la clasificación de los datos en cuantiles (Peralta et al., 2013a).

Muestreo y análisis de suelo

En función de las zonas determinadas mediante el análisis multivariado, en cada lote, nueve puntos fueron georreferenciados. En estos puntos se realizó un muestreo de suelo hasta los 50 cm de profundidad tomando tres sub-muestras. Las muestras de suelo fueron separadas en dos estratos (0-30 y 30-50 cm). Una parte de las muestras se secó a 105 °C durante 24 horas para la determinación de humedad por el método gravimétrico. El resto de las muestras fueron secadas a una temperatura de 30 °C, molidas y tamizadas hasta pasar por una malla de 2 mm para las determinaciones de pH (relación suelo: agua 1:2.5), CIC (Chapman, 1965) y la CEe. Para esta última variable se elaboró pasta saturada de suelo para su posterior filtración. En el

extracto se midió la CEe en un equipo Thermo Orion modelo 150 Aplus. Posteriormente las muestras, hasta los 30 cm de profundidad, fueron tamizadas hasta pasar por una malla de 0.5 mm para la determinación de MO (Walkley y Black, 1934).

Análisis estadístico

Se ajustaron regresiones simples entre las propiedades del suelo y la CEa con el procedimiento PROC REG(SAS Institute, 2007). Para calcular el valor de CEa a utilizar en las regresiones se utilizó la herramienta Buffer Tools de ArcGIS 9.3.1 (Environmental Systems Research Institute, 2008). Con el objetivo de evaluar diferencias entre las zonas edáficas potenciales delimitadas mediante el software MZA se realizó el análisis de la varianza (ANVA) correspondiente a las propiedades de suelo. Para ello, se utilizó un diseño completamente aleatorizado con las zonas edáficas como tratamientos y los puntos de muestreo como repeticiones. Los ANVA se realizaron con el procedimiento PROCGLM (SAS Institute, 2007) y cuando alguno de los mismos indicó diferencias significativas, la comparación de medias se realizó mediante el test de la diferencia mínima significativa (DMS).

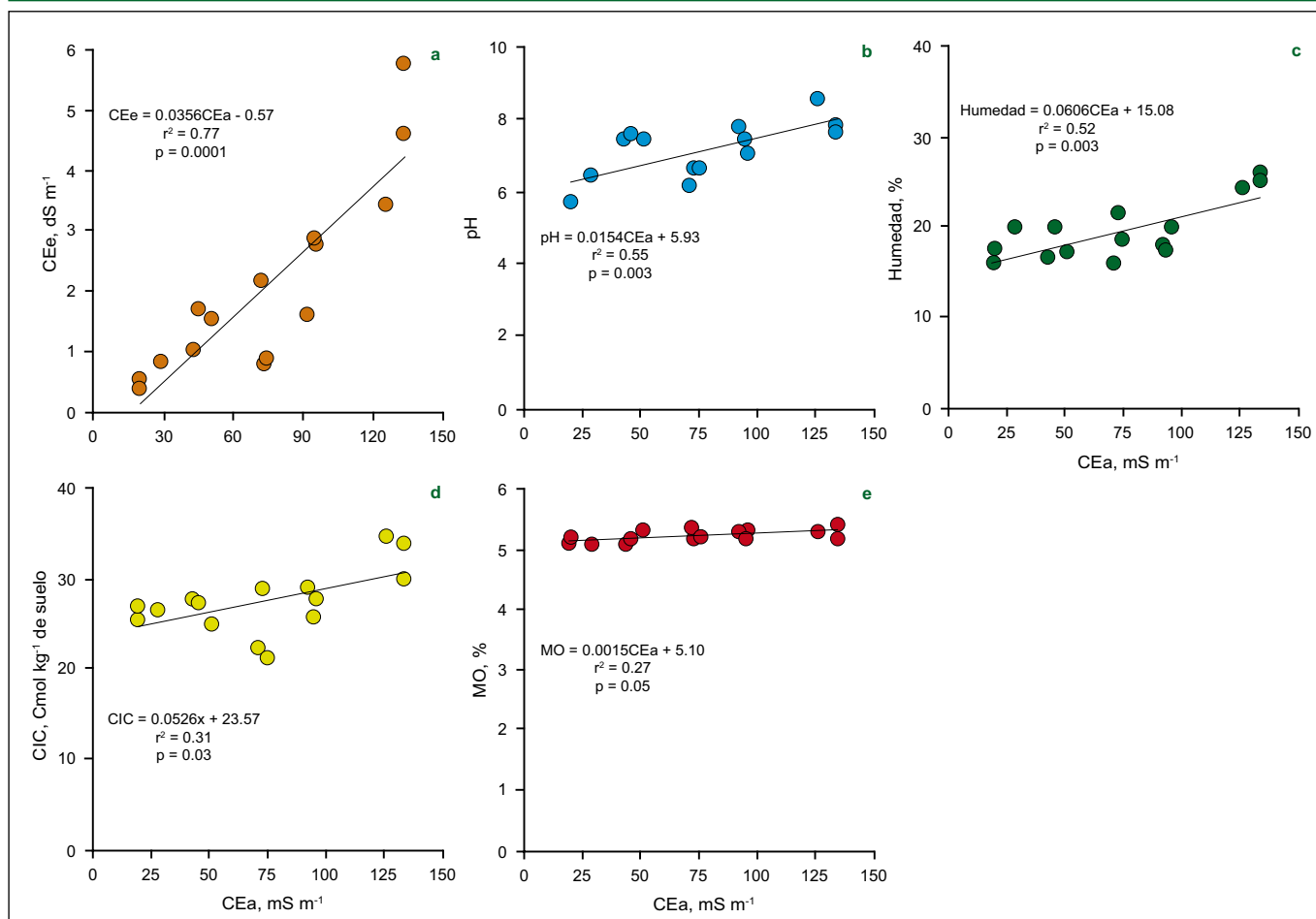


Figura 2. Relación entre la conductividad eléctrica aparente (CEa) y (a) la conductividad eléctrica del extracto (CEe), (b) el pH, (c) la humedad gravimétrica, (d) la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y (e) la materia orgánica (MO).

Resultados y discusión

En las **Figuras 1a y 1b** se presentan los mapas de distribución espacial de CEa obtenidos por kriging ordinario para los lotes Haudini y Del Maestro. En los mapas obtenidos se puede observar que existe variabilidad espacial y que a su vez ésta tiene una distribución heterogénea. Esto sugiere la posibilidad, como se ha analizado en diferentes trabajos en suelos de aptitud agrícola del sudeste bonaerense (Peralta et al., 2011; Peralta et al., 2013a) de utilizar la CEa para detectar ambientes edáficos en suelos de aptitud ganadera de la Pampa Deprimida.

La CEE se relacionó directa, lineal y significativa con la CEa (**Figura 2a**). Este comportamiento se debe a que la CEE es un estimador de la concentración de sales de un suelo (Rysan y 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 (Rhoades et al., 1989; Peralta y Costa, 2013). Coincidiendo con nuestros resultados Gambuado et al. (2010) encontraron, en suelos salinos de aptitud ganadera de la provincia de Santa Fe, diferencias significativas en la CEE entre ambientes delimitados mediante la CEa.

Como en el caso de la CEE, el pH, presentó una relación estrecha con la CEa en los lotes analizados (**Figura 2b**).

La relación entre estas variables fue lineal y significativa. En lotes de aptitud agrícola la relación entre estas variables no es congruente (Peralta et al., 2013a) debido presumiblemente a la escasa variabilidad del pH en este tipo de suelos. Sin embargo, resultados obtenidos por Serrano et al. (2010), en suelos de aptitud ganadera, indican asociación entre pH y CEa, lo que coincide con lo determinado en esta experiencia. Las relaciones lineales entre estas variables es consecuencia de la elevada asociación entre pH y sodio intercambiable (Corwin et al., 2003).

La relación entre humedad gravimétrica y la CEa fue lineal y significativa (**Figura 2c**). El contenido de humedad del suelo es uno de los principales factores que influyen la CEa, ya que en el suelo, lo que conduce la electricidad es la fase líquida (Friedman, 2005). En este sentido, Hossain et al. (2010) reportaron resultados similares en un suelo que tenía implantada una pastura naturalizada.

En los primeros 50 cm de profundidad la CIC varía en función del contenido de MO y, principalmente de arcilla. La cantidad de partículas finas afecta la medición de la CEa debido a que la conducción de la electricidad se realiza, principalmente, a través de macro y microporos continuos llenos de agua (Rhoades et al., 1989). Los suelos con elevado porcentaje de arcilla tienen mayor contacto partícula-partícula y por ende, mayor número

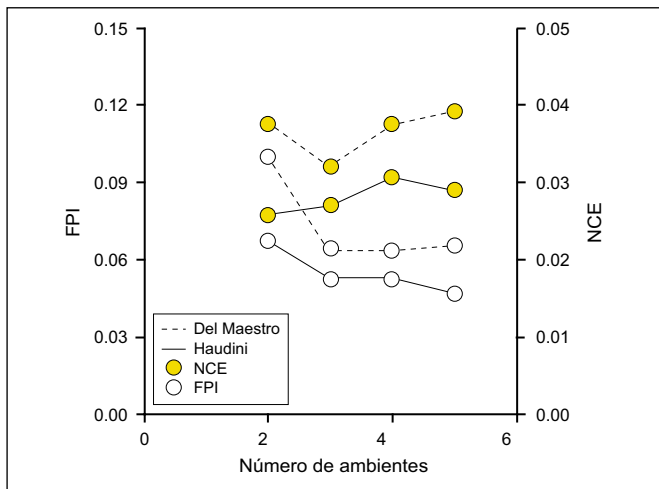


Figura 3. Índice de rendimiento difuso (FPI) (símbolos vacíos) y clasificación entrópica normalizada (NCE)(símbolos llenos) para los lotes (—) Haudini y (---) Del Maestro.

de poros pequeños que retienen agua con mayor fuerza por lo que permiten conducir mejor la electricidad (Rhoades et al., 1989). Por esto, se estableció una relación lineal entre CIC y la CEa (Figura 2d) aunque la misma mostró un grado de ajuste inferior ($r^2 = 0.31$) a las observadas con pH, CEe y humedad gravimétrica.

Se determinó una relación lineal y significativa ($p < 0.05$) entre CEa y MO. Sin embargo, el grado de ajuste entre estas variables fue bajo (27%) (Figura 2e). Este comportamiento no coincide con lo reportado por otros investigadores (Peralta et al., 2013a). Esto podría deberse a que, en nuestro estudio, la profundidad de muestreo de la CEa y la MO no fueron coincidentes (50 y 30 cm respectivamente).

El análisis de clúster univariado (CEa) determinó que el número de ambientes óptimos para los lotes Del Maestro y Haudini es cinco (datos no mostrados). Sin embargo, la literatura recomienda no utilizar más de tres o cuatro ambientes debido a que delimitar más de cuatro ambientes tiene pocas ventajas adicionales

(Fraisse et al., 2001). Diversos autores indicaron que la delimitación de áreas de manejo homogéneas en función de la topografía y la CEa permite determinar la variabilidad de rendimiento de cultivos agrícolas (Fraisse et al., 2001; Kitchen et al., 2005; Córdoba et al., 2013; Peralta et al., 2013b) y la distribución de leguminosas dentro de una pastura (Guretzky et al., 2008) porque ambas variables están relacionadas con características edáficas. En los lotes evaluados la elevación, del mismo modo que la CEa, muestra variabilidad espacial y distribución heterogénea (Figuras 1c y 1d). Por ello, se procedió a incluir esta variable topográfica en el análisis cluster para la determinación de ambientes edáficos.

En la Figura 3 se representaron los valores de FPI y NCE y el número de conglomerados (zonas edáficas) para los lotes Haudini y Del Maestro del análisis cluster multivariado. El número óptimo de zonas se determina cuando FPI y NCE alcanzan el valor mínimo (Córdoba et al., 2013). En el caso del lote Del Maestro el número óptimo de ambientes o zonas edáficas potenciales fue tres (Figura 3). La coincidencia en el número de ambientes entre los índices determina que no es preciso agregar nuevas variables al análisis (Fridgen et al., 2004). En cambio, en el lote Haudini no hubo coincidencia entre índices (Figura 3). Por lo tanto, se procedió a seleccionar la menor cantidad de ambientes introducidos en el análisis multivariado (Córdoba et al., 2013).

En la Figura 4 se muestran los mapas de los lotes evaluados con las zonas edáficas definidas a partir del análisis cluster multivariado (CEa y elevación). Con el objetivo de determinar diferencias entre las zonas edáficas se realizó un ANVA a las variables de suelo analizadas en función de cada una de estas zonas. En el análisis estadístico de la CEe se detectaron diferencias significativas entre zonas en ambos lotes (Tabla 2). Sin embargo, en el lote Del Maestro, las zonas edáficas 1 y 2 no presentaron diferencias estadísticamente

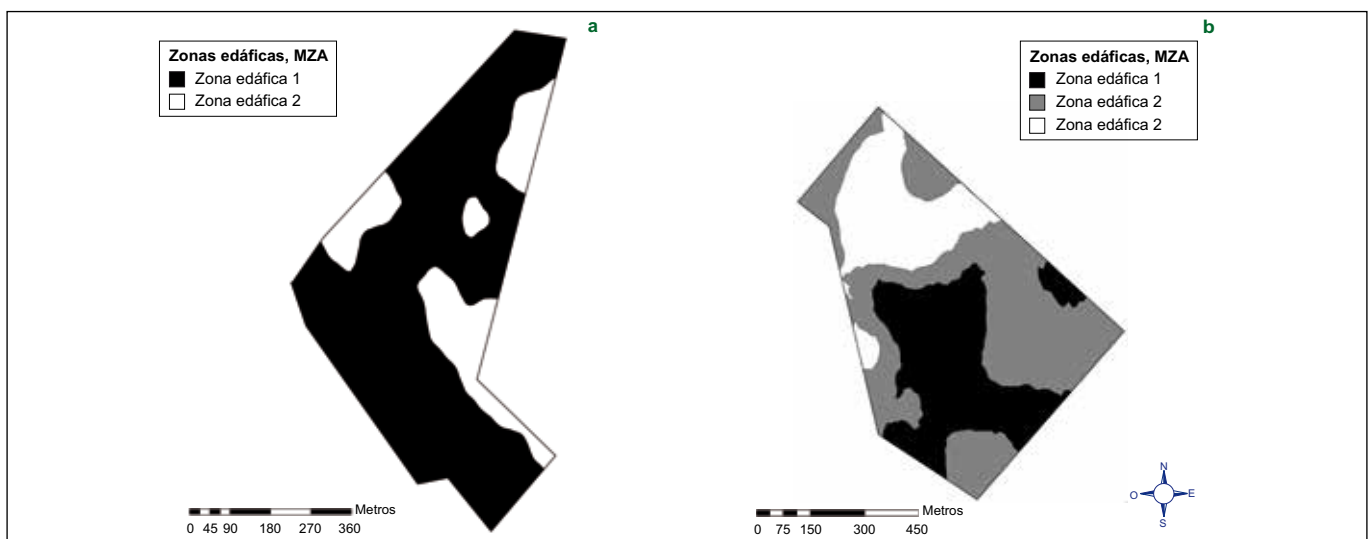


Figura 4. Zonas edáficas delimitadas por análisis de conglomerados basados en CEa y elevación del terreno para los lotes Haudini (a) y Del Maestro (b).

Tabla 2. Media y desvío estándar de conductividad eléctrica del extracto (CEe), materia orgánica (MO), pH, capacidad de intercambio cationico (CIC) y humedad gravimétrica para zonas edáficas determinadas mediante análisis cluster en los lotes Haudini y Del Maestro.

Lote	Zona edáficas	CEe	MO	pH	CIC	Humedad gravimétrica
		dS m ⁻¹	%		meq 100g ⁻¹	%
Haudini	Zona 1	0.56 ± 0.24 a	5.12 ± 0.08 a	5.93 ± 0.42 a	26.48 ± 0.94 a	17.87 ± 1.89 a
	Zona 2	1.41 ± 0.37 b	5.18 ± 0.15 a	7.49 ± 0.07 b	26.55 ± 1.64 a	17.99 ± 1.82 a
Del Maestro	Zona 1	1.29 ± 0.77 a	5.25 ± 0.09 a	6.48 ± 0.28 a	24.06 ± 4.24 a	18.60 ± 2.95 a
	Zona 2	2.41 ± 0.70 a	5.25 ± 0.09 a	7.43 ± 0.35 b	27.3 ± 1.68 ab	18.24 ± 1.32 a
	Zona 3	4.61 ± 1.16 b	5.28 ± 0.13 a	8.02 ± 0.49 c	32.81 ± 2.46 b	25.1 ± 0.91 b

Cifras seguidas por letras iguales en las columnas dentro de cada lote no difieren significativamente (nivel de significancia = 5%).

significativas ($p > 0.05$). Como en el caso de la CEe, el lote Del Maestro presentó valores más elevados de pH que Haudini. En el ANVA de esta variable se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las zonas edáficas en los dos lotes evaluados. La CIC y la humedad gravimétrica mostraron un comportamiento más inconsistente. En el lote Del Maestro se determinaron diferencias significativas entre las zonas edáficas. En cambio, en el lote Haudini las determinaciones de estos parámetros edáficos no presentaron diferencias significativas entre los ambientes definidos mediante el análisis multivariado. Por el contrario, en el análisis estadístico de la MO no se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las zonas edáficas en los dos lotes evaluados (Tabla 2).

Conclusión

Los resultados de esta experiencia indican que la CEa y la elevación permitirían la caracterización de la variabilidad edáfica de los suelos de aptitud ganadera de la Pampa Deprimida, logrando delimitar ambientes que tendrían diferente productividad potencial. Estas conclusiones son preliminares dado que, para corroborarlas, son necesarias futuras investigaciones en ambientes diferentes, e incluso en el mismo sitio en otra época del año, debido a la complejidad edáfica e hidrológica de los suelos de la Pampa Deprimida.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Ing. Agr. Ignacio Bibiloni por la colaboración para la recopilación de los datos. Este estudio fue financiado por el INTA a través de los proyectos PNPA-11260714 PE y SUELOS 1134023 PE.

Bibliografía

Agnusdei, M.G., S.G. Assuero, F.A., Lattanzi, y M.A. 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.

Batista, W.B., M.A. Taboada, R.S. Lavado, S.B. Perelman, y R.J.C. León. 2005. Asociación entre comunidades vegetales y suelos de pastizal de la Pampa Deprimida, pp. 113-129. En: La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando J.C. León (M. Oesterheld, M.R. Aguiar, C.M. Ghera, y J.M. Paruelo, Eds.), Facultad de Agronomía UBA, Buenos Aires, Argentina.

Bosch Mayol, M., J.L. Costa, F.N. Cabria, y V.C. Aparicio. 2012. Relación entre la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica y el contenido de sodio del suelo. *Ci. Suelo.* 30:95-105.

Chapman, H.D. 1965. Cation-exchange capacity. In: C. A. Black (ed.) *Methods of soil analysis - Chemical and microbiological properties.* Agronomy. 9:891-901.

Córdoba, M., C. Bruno, J.L. Costa, y M. Balzarini. 2013. Subfield management class delineation using cluster analysis from spatial principal components of soil variables. *Comp. Electron. Agric.* 97:6-14.

Corwin, D.L., y S.M. Lesch. 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Comp. Electron. Agric.* 46:11-43.

Corwin, D.L., S.M. Lesch, P.J. Shouse, R. Soppe, y J.E. Ayars. 2003. Identifying soil properties that influence cotton yield using soil sampling directed by apparent soil electrical conductivity. *Agron. J.* 95:352-364.

Costa, J.L., y P. Godz. 1999. Aplicación de yeso a un Natracuol del sudeste de la Pampa Deprimida. *Ci. suelo.* 17:21-27.

Environmental System Research Institute. 2008. ArcGis 9.0 - Arc Map vers. 9.3. Disponible en: <http://www.esri.com/> Fecha último acceso: 18-11-12.

Fraisse, C.W., K.A. Sudduth, y N.R. 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.

- Fridgen, J.J., N.R. Kitchen, K.A. Sudduth, S.T. Drummond, W.J. Wiebold, y C.W. Fraisse. 2004. Management zone analyst (MZA): software for subfield management zone delineation. *Agron. J.* 96:100-108.
- Friedman, S.P. 2005. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. *Comp. Electron. Agric.* 46:45-70.
- Gambaudo, S, H. Fontanetto, N. Sosa, G. Becaría, J. Albrecht, H. Boschetto, y G. Meroi. 2010. Aplicación de enmiendas de suelo por ambientes. Criterios a tener en cuenta para el cálculo de la dosis variable. 10º Curso Internacional de Agricultura de Precisión. Ediciones INTA. EEA Manfredi. pp 163-168.
- Geonics Limited. 2003. EM38-ground conductivity meter operating manual. Mississauga, Ontario, Canada.
- Guretzky, J.A., K.J. Moore, C.L. Burras, y E.C. Brummer. 2008. Distribution of legumes along gradients of slope and soil electrical conductivity in pastures. *Agron. J.* 96:547-555.
- Hossain, M.B., D.W. Lamb, P.V. Lockwood, y P. Frazier. 2010. EM38 for volumetric soil water content estimation in the root-zone of deep Vertisol soils. *Comp. Electron. Agric.* 74:100-109.
- INTA. 2014. Cartas de suelo de la República Argentina, Provincia de Buenos Aires. <http://www.inta.gov.ar/suelos/cartas/finalidad.htm> Fecha ultimo acceso: 10-01-2014.
- Isaaks, E.H., y R.M. Srivastava. 1989. An introduction to applied geostatistics. New York, NY: Oxford University Press. 561 p.
- Kitchen, N.R., K.A. Sudduth, D.B. Myers, S.T. Drummond, y S. Hong. 2005. Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. *Comp. Electron. Agric.* 46:285-308.
- Moral, F.J., J.M. Terrón, y J.R. Marques da Silva. 2010. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil y Tillage Res.* 106:335-343.
- Pachepsky, Y.A., D.J. Timlin, y W.J. Rawls. 2001. Soil water retention as related to topographic variables. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1787-1795.
- Paggi, M., N.R. Peralta, M. Calandroni, F. Cabria, J.L. Costa, y V. Aparicio. 2013. Identificación de series de suelos mediante el uso de sensores de conductividad eléctrica aparente en el sudeste bonaerense. *Ci. suelo.* 31:175-188.
- Peralta, N., M. Franco Castro, y J.L. Costa. 2011. Relación espacial entre variables de sitio y rendimiento para la delimitación de zonas de manejo mediante el uso de herramientas informáticas. En: Mendarozqueta, A.R., M.M. Marciszack, y M.A. Groppo. (Eds.) 3º Congreso Argentino de Agroinformática. Córdoba, pp. 58-69.
- Peralta, N.R., y J.L. Costa. 2013. Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. *Comp. Electron. Agric.* 99:218-226.
- Peralta, N.R., J.L. Costa, M. Balzarini, y H. Angelini. 2013a. Delineation of management zones with measurements of soil apparent electrical conductivity in the southeastern pampas. *Can. J. Soil Sci.* 93:205-218.
- Peralta, N.R., J.L. Costa, M. Balzarini, y M. Castro Franco. 2013b. Delineation of management zones with digital elevation models and soil depth. *Interciencia.* 38: 418-424.
- Rhoades, J.D., N.A. Manteghi, P.J. Shouse, y Alves W.J. 1989. Soil electrical conductivity y soil salinity: New formulations y calibrations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:433-439.
- Rhoades, J.D., P.A. Raats, y R.J. 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.
- Rodriguez, A., y E. Jacobo. 2012. Manejo de pastizales naturales para una ganadería sustentable en la pampa deprimida 1a ed. - Buenos Aires: Fund. Vida Silvestre Argentina. 98 p.
- Rysan, L., y 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.
- SAS Institute INC. 2007. SAS/STAT-JMP Users Guide. Release 7. Cary, NC.USA. 506 p.
- Serrano, J., J. Peca, J. Marques da Silva, y S. Shaidian. 2010. Mapping soil and pasture variability with an electromagnetic induction sensor. *Comp. Electron. Agric.* 73:7-16.
- Serrano, J., S. Shahidian, y J.R. Marques da Silva. 2013. Small scale soil variation and its effect on pasture yield in southern Portugal. *Geoderma.* 195-196:173-183.
- Taboada, M.A., R.S. Lavado, H.A. Svartz, y M.L. Segat. 1999. Structural stability changes in a grazed grassland Natraquoll of the Flooding Pampa of Argentina. *Wetlands* 19:50-55.
- Taboada, M.A., G. Rubio, y R. Lavado. 1998. The deterioration of tall wheatgrass pastures on saline sodic soils. *J Range Manag.* 51:241-246.
- Trimble Navigation Limited. 2008. Disponible en: <http://www.trimble.com>. Fecha último acceso: 10-06-13
- Walkley, A., y I.A. 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.