

USO DE SONDAS DE INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA PARA LA ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES EN SUELOS TORRIFLUVENTES

Vallone, R. y G. Olmedo

INTA EEA Mendoza, San Martín 3853, Luján de Cuyo. M5507EVY.

rovall@mendoza.inta.gov.ar

RESUMEN

La habilidad para diagnosticar y monitorear distintas condiciones edáficas a escala de campo, ha sido mejorada por el uso de instrumentos de relevamiento basados en inducción electromagnética. El objetivo del presente estudio fue aportar información científica sobre el uso de la técnica y la posibilidad de predecir la distribución espacial de propiedades edáficas en suelos Torrifluventes típicos. Se evaluó una parcela de 0.6 ha de superficie con cultivo antecesor vid durante 20 años, ubicada en el campo experimental de la EEA INTA Mendoza, en Luján de Cuyo, Mendoza. Se realizaron muestreos de suelo en dos fechas mediante barreno en 12 puntos distribuidos en grilla sobre el terreno, Se evaluaron contenido de humedad a campo, CEes, pH en pasta saturada y fracciones texturales. Simultáneamente se midió en el campo la conductividad eléctrica aparente (CE_a) con una sonda marca Geonics modelo EM38DD. Se realizaron ajuste a modelos lineales multivariados (MLR). Los modelos abreviados incluyeron como variables regresoras significativas, Z_1 y Z_2 log transformadas. Para las distintas variables evaluadas, los modelos fueron muy significativos ($p \leq 0.0001$) con r^2 ajust. entre 0.89 y 0.94. Si bien los resultados son promisorios, son necesarios mayores estudios de tratamientos geoestadísticos de los datos (cokriging), el uso de muestreos estadísticos eficientes y continuar evaluando otras variables de suelo de interés. La aplicación de un protocolo, es requerida para una buena aplicación de la metodología. En Viticultura, se deberá evaluar la interferencia del sistema de conducción y la relación con variables de cultivo, para propósitos de precisión.

Palabras clave: sondas EM; torrifluvents, viticultura de precisión

INTRODUCCIÓN

La habilidad para diagnosticar y monitorear distintas condiciones edáficas a escala de campo, ha sido mejorada por el uso de instrumentos de relevamiento basados en inducción electromagnética, entre los cuales se distinguen actualmente los sensores electromagnéticos remotos (EM) (Lesch et al, 1995). Estos sensores, dan una medida de conductividad eléctrica aparente (CEa) ponderada en profundidad, la cual es afectada por la distribución de la salinidad a través del perfil de suelo (Paine, 2003;), pero también por otras propiedades como contenido de agua (Kaffka et al, 2005), textura (Rhoades et al, 1999b), capacidad de intercambio catiónico (Rhoades et al, 1999b; Triantafilis et al, 2001), materia orgánica (Nobes et al, 2000). El interés por el uso de tales instrumentos a nivel parcelario ha crecido sobre todo en el sector vitivinícola de las zonas áridas de regadío, y en consecuencia proclives a presentar serios problemas de salinidad, principalmente atraídos por la posibilidad de realizar mapeos de esta variable en sus cuarteles y para conocer la intrínseca heterogeneidad espacial de los suelos aluvionales en forma rápida y menos laboriosa que los tradicionales relevamientos de suelo. Debido a la dificultad que los estudios han demostrado para obtener e interpretar medidas espaciales de CEa aplicadas a agricultura de precisión, el Workshop USDA-ARS del 2003, concluyó que era necesario elaborar protocolos para conducir relevamientos georeferenciados a nivel parcelario y guías para la interpretación de CEa, para asegurar consistencia, confiabilidad y compatibilidad de los datos. Corwin & Lesch (2005), propusieron un protocolo, que el presente trabajo ha parcialmente aplicado con el propósito de aportar información científica sobre el uso de la técnica y la posibilidad de predecir la distribución espacial de propiedades edáficas en suelos vitícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El suelo del sitio evaluado fue un Torrifluente típico, mixto, térmico, calcáreo-yesoso, con escaso contenido de materia orgánica representativo de la zona. La parcela de 0.6 ha de superficie inculca, con cultivo antecesor vid durante 20 años, estuvo ubicada en el campo experimental de la EEA INTA Mendoza, en Luján de Cuyo (33°0'13.8"S; 68°51'55.4"W), Mendoza. Una caracterización del suelo del cuartel se presenta en la Tabla 1. Se realizaron muestreos de suelo en dos fechas distintas mediante barreno en 12 puntos distribuidos en grilla sobre el terreno, estimados suficientes para capturar la variabilidad del sitio de acuerdo a estudios previos, a dos profundidades diferentes 0-60 cm y 60-120 cm. Se evaluaron: contenido de humedad actual a

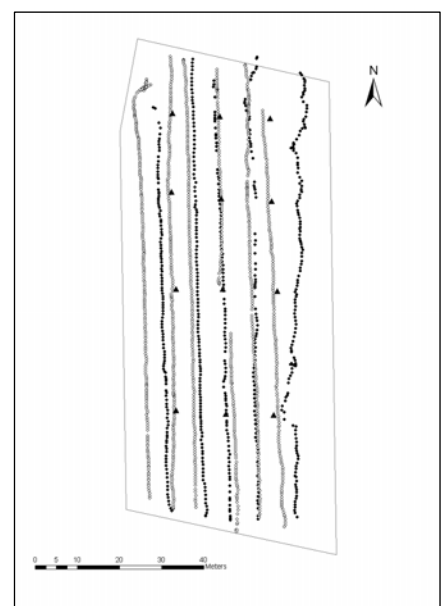


Figura 1: Ubicación en la parcela de los puntos de muestreo de suelo (▲), y las lecturas de CEa para la fecha 1 (●) y 2 (◻).

campo en forma gravimétrica (w_a), conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE_{es}), pH en pasta saturada (pHp) y las fracciones texturales mediante el método hidrométrico de Bouyoucos.

Simultáneamente se midió en el campo la conductividad eléctrica aparente (CEa) con una sonda marca Geonics modelo EM38DD conectada a una computadora de campo Allegro CX – Juniper System. Por la corta duración y pequeña área del sondeo, se consideró innecesaria la corrección por efecto de variaciones de temperatura de suelo, que según Corwin & Lesch (2005) sería de 1,9% de aumento de CEa por °C de aumento de temperatura del suelo.

Tabla 1. Datos analíticos del suelo evaluado

Capa , cm	0-39	39-64	64-89	89-133-	133-183	183-200
Materia Orgánica (Cx1.724) g%g	1.1	0.7	0.4	0.4	0.3	0.2
N Total, mg/kg	699	578	259	269	198	144
P-H ₂ CO ₃ 1:10, mg/kg	1.8	1.1	1.2	0.65	1.03	0.98
Fracciones Texturales (g%g)						
Arcilla < 2 μm	12	14	9	6	10	8
Limo Intern. 2-20 μm	28	44	43	60	23	19
Arena muy fina 20-50 μm	6	2	14	8	9	13
Arena 50-200 μm	54	40	34	26	58	60
Clasificación Internacional	F	FL	F	FL	Fa	Fa
CEA, dS/m	1.9	1.5	1.7	3.3	2.8	2.1
pH, pasta saturada	7.7	7.9	7.8	7.7	7.8	7.9
CO ₃ ⁻ , mmol/L	----	----	----	----	----	----
CO ₃ H ⁻ , mmol/L	2	2.5	1.4	1.6	1.5	1.6
Cl ⁻ , mmol/L	7.9	5.9	6.7	7.3	5.3	5.1
SO ₄ ⁻ , mmol/L	----	----	----	----	----	----
Ca ⁺⁺ , mmol/L	12	9.4	10.8	25.9	18.3	13
Mg ⁺⁺ , mmol/L	3.7	1.7	1.7	6.3	3.7	2.5
Na ⁺ , mmol/L	3.9	3.5	3.9	8.3	10	6.8
RAS	1.4	1.5	1.5	2.1	3	2.5
Calcáreo (CaCO ₃) g%g	6.6	6.8	7	7.2	7.2	6.5

Capa , cm	0-39	39-64	64-89	89-133-	133-183	183-200
Cationes extraíbles con Acetato de amonio 1N, cmol/kg						
Ca	10.2	10.9	11.5	12.9	11	10
Mg	1.4	1.7	1.8	2.7	1.7	1.7
K	0.6	0.4	0.5	0.3	0.3	0.2
Na	0.4	0.5	0.6	1	0.5	0.6

Para la medición de la CEa se realizaron 7 transectas sobre la parcela en el sentido Norte-Sur, tomando una lectura cada 2 segundos, de conductividad eléctrica aparente horizontal (CEaH) y conductividad eléctrica aparente vertical (CEaV). Las transectas se hicieron coincidir con la posición de la grilla de muestreo a campo (Figura 1). Las lecturas fueron georreferenciadas durante el muestreo mediante un GPS sirf III conectado mediante bluetooth al EM38DD. Los datos fueron postprocesados para eliminar las lecturas tomadas cuando la dilución de la precisión con respecto a la posición (PDOP) fuera mayor a 2,5 m. El análisis computacional se realizó mediante el software DAT38DDW v2.03 (Geonics Limited, 2005) y luego geoespacialmente con el software ArcGIS 9.2 (ESRI, 2005)

Se realizaron pruebas de ajuste a modelos lineales multivariados (MLR) entre las propiedades físico-químicas analizadas en las muestras obtenidas a campo y el resultado de la medición con el sensor electromagnético (Lesch, 1995):

$$y = \beta_0 + \beta_1[z1] + \beta_2[z2] + \beta_3[cX] + \beta_4[cY] + \varepsilon$$

Donde la variable respuesta (y) representa la propiedad de suelo de interés (salinidad, humedad actual, etc.); $z1 = (EMV + EMH)/2$ y $z2 = (EMV - EMH)/2$ representan la respuesta promedio y la diferencia normalizada de la señal EM; cX y cY representan las coordenadas de posición asociadas; β_j representan los coeficientes empíricos del modelo de regresión y ε representa el error aleatorio asociado al modelo.

A partir de los modelos obtenidos se calcularon los valores estimados de las variables físico-químicas y con ellas se obtuvieron superficies de predicción mediante interpolación por kriging ordinario. (Figura 2). Al ser una parcela temporalmente inculca o se realizaron análisis de correlación con variables de cultivo, como estipula el protocolo.

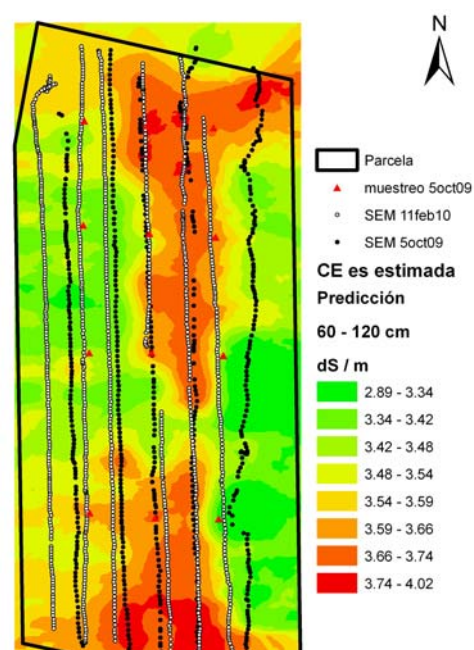


Figura 2: Superficie de predicción de la variable CE es a partir de MLR mediante interpolación por kriging ordinario

RESULTADOS

Las variables edáficas evaluadas en ambas fechas sobre la misma parcela, ponen de manifiesto la gran heterogeneidad o variabilidad textural, y propiedades asociadas, en pocos metros de distancia por el carácter aluvional reciente de la mayor parte de los suelos mendocinos (Tabla 2)

Tabla 2: Valores promedios (\pm EE) del perfil de suelo (0-1.5 m) en las dos fechas de muestreo (n=12)

Variable	Fecha 1	Fecha 2
CEes (dS/m)	3.58 \pm 0.31	2.19 \pm 0.22
Wa (g%g)	16.2 \pm 0.66	10.2 \pm 0.68
PHp	-----	7.79 \pm 0.04
Arcilla (g%g)	10.7 \pm 0.64	7.3 \pm 2.46
Arena (g%g)	57.4 \pm 1.71	78.7 \pm 6.73
Limo (g%g)	31.9 \pm 1.20	14.0 \pm 6.15

El estudio de normalidad de CEah y CEav (datos no mostrados), indicó un alejamiento de este supuesto, por lo que los valores fueron log transformados. Se obtuvieron modelos abreviados en función del análisis de significatividad de variables regresoras, resultando de peso solamente las variables Z1 y Z2 log transformadas. (Tabla 3).

Tabla 3: Bondad de ajuste de MRL para la estimación de algunas propiedades edáficas a partir del sensor EM38DD

Variable	Modelo				Coeficientes de regresión	
	n	r ²	r ² Ajust	Valor p	β 1(Valor p)	β 2(Valor p)
CEes (dS/m)	24	0,90	0,89	<0.0001	-2.06(<0.0001)	2.9 (0.0064)
w _a (g%g)	24	0,95	0,94	<0.0001	-9.34(<0.0001)	12.0 (<0.0001)
Arcilla (g%g)	24	0,93	0,92	<0.0001	-6.33(<0.0001)	7.17 (<0.0004)

DISCUSIÓN O CONSIDERACIONES

La utilización de estos modelos de predicción a partir de CEa, deben considerar que para mapear CEes será necesario controlar la variabilidad de humedad de suelo y texturales o ingresarlas como covariables. Por otro lado no se exploraron los componentes de tendencias superficiales, recomendados en casos de significantes asociaciones entre parámetros o si es necesario controlar una tendencia espacial de los residuos. Sin embargo, los modelos de MRL, tradicionalmente vistos como técnicas de menor capacidad de predicción, son teóricamente equivalentes al cokriging, el cual requiere de más “know-how”, y el buen ajuste obtenido en este trabajo para algunas variables en suelos Torrifluventes, permiten suponer la factibilidad de su uso.

CONCLUSIÓN

Si bien los resultados son promisorios para el seguimiento de la evolución de propiedades edáficas, son necesarios mayores estudios de tratamientos geoestadísticos de los datos (cokriging), el uso de muestreos estadísticos eficientes y continuar evaluando otras variables de suelo de interés. La aplicación de un protocolo, es requerida para una buena aplicación de la metodología. Para el caso de viticultura, se debe evaluar la interferencia del sistema de conducción (madera y alambre) en el relevamiento con sensores electromagnéticos, la relación con variables de cultivo, que son propósitos para continuar en esta parcela evaluada próxima a ser implantada.

BIBLIOGRAFÍA

- Corwin, D.L., Lesch, S.M. (2005) Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity: I. Survey protocols, *Comput. Electron. Agric.* 46, Issues 1-3, Pages 103-133
- Geonics Limited. (2005) EM38DD Ground Conductivity Meter. Dual Dipole Version. Operating Manual.
- Kaffka, S.R., Lesch, S.M., Bali, K.M., Corwin, D.L. (2005) Site-specific management in salt-affected sugar beet fields using electromagnetic induction. *Comput. Electron. Agric.* 46, 329–350.
- Lesch, S.M., Strauss, D.J., Rhoades, J.D. (1995a.) Spatial prediction of soil salinity using electromagnetic induction techniques. 1. Statistical prediction models: a comparison of multiple linear regression and cokriging. *Water Resour. Res.* 31, 373–386.
- Lesch, S.M., Corwin, D.L., Robinson, D.A. (2005) Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils, *Comput. Electron. Agric.* 46, Issues 1-3, Pages 351-378
- McNeil, J.D. (1980) Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Technical Note TN-6. Geonics Limited, Ontario, Canada.

- Nobes, D.C., Armstrong, M.J., Close, M.E. (2000) Delineation of a landfill leachate plume and flow channels in coastal sands near Christchurch, New Zealand, using a shallow electromagnetic survey method. *Hydrogeol. J.* 8 (3), 328–336.
- Paine, J.G. (2003) Determining salinization extent, identifying salinity sources, and estimating chloride mass using surface, borehole, and airborne electromagnetic induction methods. *Water Resour. Res.* 39 (3), 1059.
- Rhoades, J.D., Chanduvi, F., Lesch, S. (1999b.) Soil salinity assessment: methods and interpretation of electrical conductivity measurements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 57. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 150 pp.
- Triantafyllis, J., Huckel, A.I., Odeh, I.O.A. (2001) Comparison of statistical prediction methods for estimating field-scale clay content using different combinations of ancillary variables. *Soil Sci.* 166 (6), 415–427.