

# USO DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DEL SUELO PARA DETERMINAR LA PROFUNDIDAD AL HORIZONTE PETROCALCICO

Vázquez, J. M.<sup>1\*</sup>; Reposo, G.<sup>1</sup>; Guecaimburú, J. M.<sup>1</sup>, Rojo, V.<sup>1</sup>, Giacobone, C.<sup>1</sup>, Martínez, M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>. Departamento de Tecnología, Universidad Nacional de Luján. C.P. 6700. Lujan, Argentina.

\*jmv@unlu.edu.ar

**PALABRAS CLAVE:** tosca, telurímetro, penetrómetro.

## INTRODUCCIÓN

En diferentes zonas de la provincia de Buenos Aires es frecuente encontrar lotes con un manto calcáreo a profundidad variable. El horizonte calcáreo, denominado habitualmente como tosca, limita la capacidad de almacenaje de agua del suelo, la profundidad explorada por las raíces y termina afectando el rendimiento (Calviño y Sadras, 1999, Fontana et al 2006, Ross et al 2012, Leonardi 2012, Méndez et al 2010). Esta relación entre el rendimiento y la profundidad al horizonte petrocalcico, justifica diferenciar distintas zonas de manejo de los lotes en función de dicha profundidad, fundamentalmente teniendo en cuenta que esta ultima suele presentar una variabilidad considerable en su distribución espacial (Peralta et al 2011). La variabilidad espacial de la profundidad a la tosca suele relevarse mediante una grilla de puntos de muestreo, donde se mide la profundidad al horizonte petrocálcico mediante la introducción de una vara metálica hasta que esta se frene sobre la tosca. Este método es lento y costoso sobre todo si los puntos deben ser tomados a intervalos lo suficientemente próximos para lograr un mayor detalle (Sessevalle 2013). En contraposición, la medición de la conductividad eléctrica es un método fiable, rápido, y que permite relevar fácilmente desde la superficie del suelo, la profundidad a la que se encuentran capas de distinta conductividad (Corwin y Lesch 2010; Moral et al., 2010). Con respecto a la tosca sería posible determinar su profundidad, dado que el horizonte petrocálcico posee baja porosidad y en consecuencia un reducida capacidad de albergar agua, lo que conllevará a una disminución de la conductividad eléctrica (Weinzettel et al 2009).

La conductividad eléctrica, que es la habilidad de un material para conducir una corriente eléctrica, al ser medida directamente del suelo mediante métodos geofísicos, se denomina conductividad eléctrica aparente (CEa), a diferencia de la que se mide, por ejemplo, a partir del extracto de saturación (CEe) (Rhoades et al, 1999). Hay tres vías por donde se puede transmitir la corriente eléctrica en el suelo (Rhoades et al 1989): 1) una fase liquida compuesta por el agua en los poros con sólidos disueltos, 2) una interface solido líquido donde hay cationes intercambiables asociados a partículas de arcilla, 3) una fase solida donde hay partículas en contacto entre sí. Estas tres vías determinan que la CE del suelo sea influenciada por diferentes propiedades físicas y químicas Por lo tanto la conductividad va a aumentar en la medida que el suelo tenga:

1. Más contenido de humedad y debe considerarse que suelos con mayor porosidad o menor densidad aparente, van a tener mayor capacidad de almacenamiento de agua, pudiendo alcanzar valores más altos de conductividad eléctrica (Samouëlian et al 2005).

2. Un mayor contenido de sales disueltas (mayor salinidad y capacidad de intercambio catiónico). se detecta fácilmente en la conductividad eléctrica (Rhoades and Corwin, 1981).

1. Textura más fina: la mayor capacidad de almacenamiento de agua y su mayor capacidad de intercambio catiónico determinan que las arcillas generen mayores valores de conductividad.

Existen diferentes modelos de rastras de medición de la CEa, que posibilitan relevar la distribución espacial de este parámetro, a dos o tres rangos de profundidad y que han sido utilizadas para relacionar las lecturas de CEa a la profundidad a la tosca. En algunos casos se ha correlacionado la profundidad a la tosca con la CEa del rango de profundidad del suelo de 0 a 30 cm de profundidad (Domenech et al 2013), o bien se ha realizado un análisis de componente principal con las lecturas de conductividad de 3 profundidades diferentes para relacionarlo a la profundidad a la tosca (Priori et al 2013). La posibilidad de extrapolar las funciones de estos ensayos a otros suelos, no ha sido evaluada. Sin embargo, existen técnicas, de perfilado eléctrico que permiten medir la CEa de diferentes profundidades del suelo (Corwin 2008), lo que permitiría detectar a que profundidad se registrarían valores contrastantes de CEa asociados a planchas de tosca.

Las hipótesis de trabajo es que la medición de la conductividad eléctrica aparente permite determinar la profundidad a la que se encuentran las capas compactadas.

El objetivo de este trabajo fue evaluar una técnica de relevamiento de la conductividad eléctrica en el perfil del suelo para determinar la profundidad al horizonte petrocalcico.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El sitio de estudio se encuentra en un campo sobre la ruta 31 que une las localidades de Carmen de Areco y San Antonio de Areco (34°17'09" S, 59°35'38" O). La zona de muestreo se encuentra sobre un paisaje de loma en donde abundan los afloramientos de planchas de tosca en superficie.

Figura 1: presencia de planchas de “tosca” a escasa profundidad en el sitio de estudio.

Para medir la profundidad a la tosca se utilizó un medidor de capas duras que penetra en el suelo hasta toparse con la tosca. Este consta de una varilla de acero de 10 mm de diámetro y 1.2 m de largo. Presenta ranuras cada 5 cm para conocer la profundidad de penetración y una punta de penetración forma cónica con base de 12mm y un ángulo de 30°.

Por otra parte se tomaron medidas de resistencia a la penetración para caracterizar el grado de compactación del suelo, por arriba del manto de tosca. Se utilizó un penetrómetro de cono ASAE S 313 (ASAE 1992), de principio electrónico y data-logger incluido, con medición del posicionamiento en profundidad mediante emisor de ultrasonido. La resistencia a la penetración, se relevó para un perfil de 0 a 0,6 m de profundidad, con datos cada 0,025 m y 5 repeticiones para cada punto de muestreo.

Para medir la conductividad eléctrica se utilizó un teluómetro analógico con cuatro jabalinas que mide la resistencia eléctrica del suelo. Las jabalinas se clavaron en el suelo sobre una línea recta, separadas a una misma distancia, de acuerdo a la configuración Wenner (Corwin 2008). A partir de los valores de resistencia eléctrica del suelo así medidos, se despejó la conductividad eléctrica aparente del suelo (CEa), de acuerdo a la siguiente ecuación (donde R es el valor de la resistencia eléctrica del suelo y a es la separación entre las jabalinas):

$$CEa = \frac{1}{2 \pi a R}$$

De este modo se obtuvo la conductividad eléctrica aparente del suelo hasta una profundidad igual a la distancia que separa las jabalinas. Al aumentar la separación entre las jabalinas, desde 0,1 metros a intervalos de 0,1 metros, se fue midiendo la conductividad a profundidades cada vez mayores, pero siempre fueron valores medios de la conductividad entre la superficie del suelo y esa profundidad. Se utilizó una ecuación desarrollada por Barnes (1952), para diferenciar la conductividad de sucesivas capas de suelo (donde  $a_i$  es una profundidad de una capa de suelo y  $a_{i-1}$  es la profundidad de la capa superior):

$$CEa = \frac{CEa_i a_i - CEa_{i-1} a_{i-1}}{a_i - a_{i-1}}$$

De este modo se obtuvo un perfil de CEa del suelo con un dato cada 0,1 m.

Las mediciones de profundidad a la tosca, resistencia a la penetración y conductividad eléctrica aparente se realizaron sobre los puntos de una grilla utilizada para generar un mapa de profundidad a la tosca de una parcela, utilizando kriging como método de interpolación geoestadístico. Como las mediciones de CEa se realizaron a intervalos de 0,1 m de profundidad y la medición de la resistencia a la penetración presentaba un dato cada 0,025 m, estas últimas se promediaron cada 0,1 m.

Los datos de CEa se utilizaron para crear mapas de conductividad para cada profundidad muestreada, también utilizando kriging como método de interpolación geoestadístico.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de CEa fluctuaron entre 1 y 10 mS/m, valores que habitualmente están asociados a la presencia de limo y ausencia de problemas de salinidad. Por otra parte se midió la CEa clavando las jabalinas en la plancha de tosca y los valores oscilaron entre 0,2 y 0,3 mS/m, lo que era esperable a causa de su baja porosidad. En principio se esperaba que con la técnica del perfilado de CEa del suelo, se pudiera encontrar a la profundidad de la plancha de tosca, que esta presentara esos bajos valores de conductividad. Sin embargo solo en sectores muy acotados se midieron valores de CEa inferiores a uno y si se compara con la profundidad de la tosca en la figura 4, se observa que no coincide en profundidad.

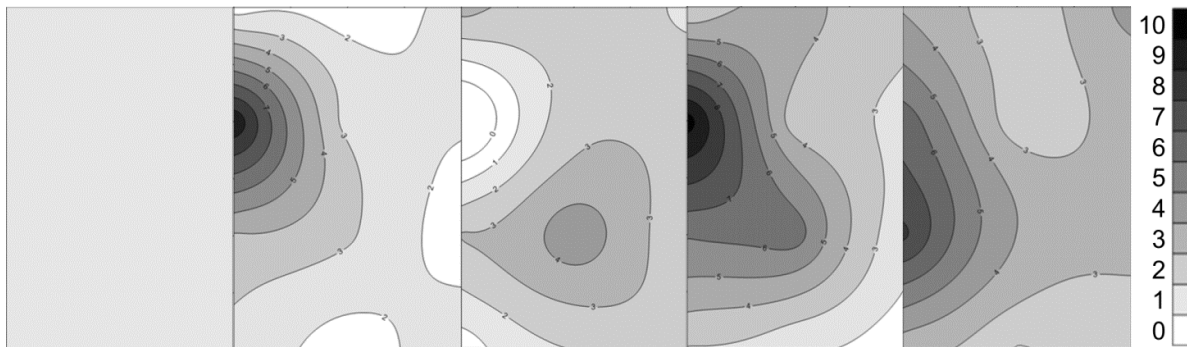


Figura 2: mapas de conductividad eléctrica 0,1 a 0,5 m de izquierda a derecha. A la derecha la escala de 0 a 10 miliSiemens/metro.

El hecho de que la conductividad eléctrica aparente del suelo presentara una elevada variabilidad espacial y en profundidad, como se observa en la figura 2, pone en relieve que existen factores edáficos que modifican la CEa del suelo agrícola. Si bien era esperable que la resistencia a la penetración contribuyera a explicar esta variabilidad de la CEa, esto no fue así. La resistencia a la penetración aumenta con la compactación del suelo y también con la pérdida de humedad del mismo. En cualquiera de los dos casos la CEa debería disminuir (pérdida de humedad y porosidad) por lo que era esperable encontrar una relación. Los datos de resistencia a la penetración se analizaron en conjunto con los de conductividad eléctrica aparente. Sin embargo en la figura 3 se observa la escasa relación entre los parámetros evaluados.

La variabilidad de los valores de CEa dificulta la posibilidad de encontrar valores de referencia de CEa, ya que a la profundidad a la que se halla la plancha de tosca, los valores de CEa son todos diferentes.

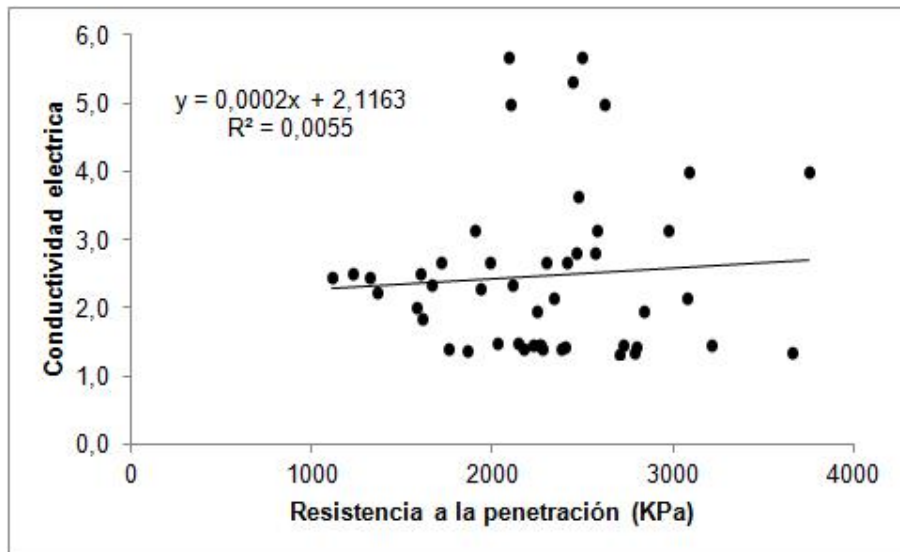


Figura 3: se observa la relación entre la resistencia a la penetración y la conductividad eléctrica

Sin embargo se pudo comprobar que los valores de CEa aumentan en la medida que se separan las jabalinas del telurometro, pudiendo medir capas más profundas del suelo. Esa tendencia al incremento de la conductividad en profundidad se revierte a la profundidad a la que se encuentra

un estrato de baja porosidad como una plancha de tosca, independientemente de cuál sea el valor absoluto de CEa. En la figura 4 se observa la similitud de los mapas de profundidad a la tosca generados a partir de los puntos a los que se reduce la conductividad y a partir de métodos mecánicos. La profundidad al horizonte petrocalcico medida en forma mecánica o mediante la conductividad eléctrica, presentó valores similares con un alto grado de correlación ( $r = 0,84$ ).

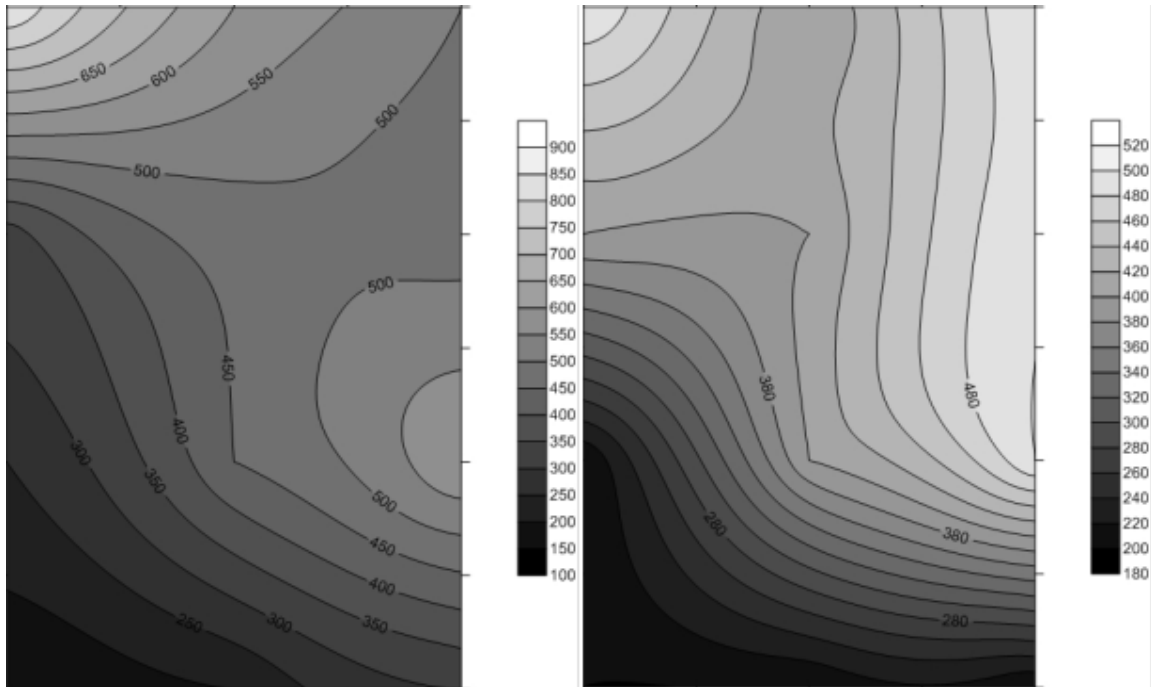


Figura4: mapas de la profundidad a la tosca en milímetros medida mecánicamente (izquierda) y mediante CEa (derecha).

## CONCLUSIONES

La variación de la profundidad al horizonte petrocalcico puede ser determinada por métodos mecánicos o geofísicos, con la diferencia de que, con estos últimos, se pueden obtener muchos más datos en forma más económica.

## BIBLIOGRAFÍA

ASAE. 1992. S 313.2. Standard of Soil Cone Penetrometer p 611.

Barnes, H.E. 1952. Soil investigation employing a new method of layer-value determination for earth resistivity interpretation. Highw. Res. Board, Bull. 65:26–36

Calviño P.A., V.O. Sadras, 1999. Interannual variation in soybean yield: interaction among rainfall, soil depth and crop management. Field Crops Research 63, 237-246.

Corwin, D.L., 2008. Past, present and future trends of soil electrical conductivity measurement using geophysical methods. En: Allred, B.J., Daniels, J.J., Ehsani, M.R. (Eds.), Handbook of Agricultural Geophysics. CRC Press, London, pp. 3–16.

Corwin, D.L., S.M. Lesch, 2010. Delineating site-specific management units with proximal sensors. In: M. Oliver, editor, Geostatistical applications in precision agriculture. Springer, New York, p.139–165

Domenech, M., M. Castro Franco, P. Cicore, , J.I. Costa, V. Aparicio. 2013. Spatial variability of the effective depth to petrocalcic horizon using electrical resistivity In the southern Argentina pampas. ASA, CSSA and SSSA International Annual Meetings. Tampa, Florida.

Fontana, F., M. Paturlane, M. Saks, A. Quiroga, 2006. Efecto del espesor de suelo sobre propiedades edáficas y rendimiento de trigo en la región semiárida pampeana. Aspectos de la evolución y el manejo de los suelos en la región semiárida pampeana. Publ. Téc, 66, 15-22.

Leonardi, M., 2012. Comportamiento sitio específico de la soja en el centro sur bonaerense. Tesis para obtener el título de grado en el Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur.

Méndez, A., D. Villarroel, J. Massigoge, J. Vélez, 2010. Análisis del rendimiento y la calidad de la cebada cervecera en función de la profundidad de tosca en el perfil del suelo. En IX Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola–CLIA 2010. XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola–CONBEA 2010. 25-29 de Julho 2010. Ed CLIA/CONBEA, Vitória-ES, Brasil.

Moral, F.J., J.M. Terrón, J.R. Marques Da Silva. 2010. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. Soil Till. Res. 106:335–343

Peralta, N., M. Franco Castro, & J. Costa, 2011. Relación espacial entre variables de sitio y rendimiento para la delimitación de zonas de manejo mediante el uso de herramientas informáticas. En III Congreso Argentino de Agroinformática. Córdoba (pp. 58-69).

Priori, S., M. Fantappiç, S. Magini, E.A.C. Costantini, 2013. Using the ARP-03 for high-resolution mapping of calcic horizons. International Agrophysics, 27(3), 313-321.

Rhoades, J.D., D.L. Corwin, 1981. Determining soil electrical conductivity-depth relations using an inductive electromagnetic soil conductivity meter. Soil Sci. Soc. Am. J. 45, 255–260.

Rhoades, J.D., N.A. Manteghi, P.J. Shouse, W.J. Alves, 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations, Soil Sci. Soc. Am. J., 53, 433–439.

Rhoades, J. D., F. Chanduvi, S.M. Lesch, 1999. Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements (Vol. 57). Food & Agriculture Org.. Ross F., J. Massigoge, 2012. Interacción fertilización nitrogenada y ambiente en cebada cervecera cv. Scarlett: I Rendimiento. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo; XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina – 16 al 20 de abril de 2012

Samouëlian, A., I. Cousin, A. Tabbagh, A. Bruand, G. Richard, 2005. Electrical resistivity survey in soil science: a review. Soil and Tillage research, 83(2), 173-193.

Sessevalle, S., 2013. Descripción de un protocolo para determinar profundidad de tosca en la zona sudoeste de la provincia de Buenos Aires [en línea]. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina.

Weinzettel, P., Dietrich, S., & Varni, M., 2009. Utilización de tomografía eléctrica con distintas configuraciones y espaciamentos electródicos para la caracterización de la zona no saturada. Silva Rojas, O. y Carrera Ramírez, J. ed. Jornadas de Investigación de la zona no saturada del suelo, 9, 253-260.