

UTILIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA VERIS PARA LA ESTIMACION DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN ZONAS BAJAS DEL URUGUAY

Marcos Valle Bueno¹, Federico Campos², Matias Oxley³, Alvaro Roel⁴, Lessandro Faria⁵, Gustavo Lima⁶

RESUMO: Este estudio tiene el objetivo de comprender mejor cómo la electroconductividad aparente del suelo (ECa) puede ayudarnos a estimar su humedad, una variable clave para la producción agropecuaria. En las zonas bajas de Uruguay, donde el agua se acumula con facilidad y los anegamientos pueden afectar los cultivos y el pastoreo, conocer la distribución de la humedad en el suelo es fundamental para tomar decisiones más eficientes. La ECa se ve influenciada por varios factores, como la cantidad de agua en el suelo, su textura, la salinidad y el grado de compactación. Analizar estos elementos nos permite identificar patrones y mejorar el manejo del suelo para optimizar la producción. Si bien la medición de la electroconductividad es una herramienta valiosa, su uso no debe ser aislado. Para obtener un diagnóstico preciso de las condiciones del suelo, es necesario complementarla con otras técnicas. Por eso, este estudio se llevó a cabo en dos áreas semi-comerciales de 10 y 12 hectáreas dentro de la estación experimental Paso de la Laguna, perteneciente al Instituto de Investigación Agropecuaria de Uruguay (INIA). Se utilizó un equipo Veris para medir la ECa del suelo y, posteriormente, un Penetrologger Eijkelkamp para registrar la humedad en distintos puntos. La combinación de estas mediciones nos ayuda a entender mejor la relación entre la conductividad y la humedad, permitiendo avanzar hacia un manejo más preciso y sostenible de los suelos en estas zonas. En ambos potreros y profundidades, se observa una relación inversa entre las variables, evidenciada por pendientes negativas en todas las ecuaciones de regresión.

Palabras Clave: eletrconductividad del suelo, tierras bajas, agua en el suelo

¹Profesor doutor em recursos hídricos, Universidad Tecnológica del Uruguay, Durazno, Uruguay, marcos.valle@utec.edu.uy

²Agronomo, Universidad de la Republica, Treinta y tres, Uruguay, federico.campos@utec.edu.uy

³Tecnico, INIA, Treinta y tres, Uruguay, aoxley@inia.org.uy

⁴Investigador, INIA, Treinta y tres, Uruguay, aroel@inia.org.uy

⁵Professor doutor UFPel, Pelotas, RS, lessandro.faria@ufpel.edu.br

⁶Doutorando em recursos hídricos, UFPel, Pelotas, RS, gu_poa@hotmail.com

USE OF THE VERIS TOOL FOR ESTIMATING SOIL MOISTURE IN LOWLANDS AREAS OF URUGUAY.

ABSTRACT: This study aims to better understand how soil apparent electroconductivity (ECa) can help us estimate soil moisture, a key variable for agricultural production. In lowland areas of Uruguay, where water accumulates easily and flooding can affect crops and grazing, knowing the distribution of soil moisture is essential to make more efficient decisions. ECa is influenced by several factors, such as the amount of water in the soil, its texture, salinity, and degree of compaction. Analyzing these elements allows us to identify patterns and improve soil management to optimize production. Although electroconductivity measurement is a valuable tool, its use should not be isolated. To obtain an accurate diagnosis of soil conditions, it is necessary to complement it with other techniques. Therefore, this study was carried out in two semi-commercial areas of 10 and 12 hectares within the Paso de la Laguna experimental station, belonging to the Agricultural Research Institute of Uruguay (INIA). A Veris device was used to measure soil ECa and, subsequently, an Eijkelkamp Penetrologger to record moisture at different points. The combination of these measurements helps us to better understand the relationship between conductivity and moisture, allowing us to move towards a more precise and sustainable management of soils in these areas. In both pastures and depths, an inverse relationship between the variables is observed, evidenced by negative slopes in all regression equations. Keywords: soil electroconductivity, lowlands, soil water

INTRODUCCION

La agricultura de precisión ha surgido como un enfoque fundamental para la optimización del uso de recursos naturales y el aumento de la eficiencia productiva en sistemas agrícolas. Dentro de este contexto, la cuantificación de la humedad del suelo y su correlación con la conductividad eléctrica aparente (CEa) han sido ampliamente investigadas, ya que estos parámetros son indicadores esenciales para el manejo eficiente del riego y la comprensión de la variabilidad espacial y temporal del suelo

(CORWIN & LESCH, 2005). La CEa, que refleja la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica, está intrínsecamente relacionada con propiedades físicas y químicas del suelo, como textura, salinidad, densidad aparente y, sobre todo, con el contenido de agua en el suelo (RHOADES et al., 1999). La comprensión de la relación entre CEa y humedad del suelo es, por lo tanto, crucial para el desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles y para la maximización de la eficiencia en el uso del agua.

En Uruguay, un país con una economía fuertemente basada en el sector agropecuario, la adopción de tecnologías de agricultura de precisión ha ganado relevancia, especialmente en cultivos como soja, trigo, maíz y pasturas. La variabilidad climática y la heterogeneidad de los suelos uruguayos, que incluyen desde suelos arcillosos hasta arenosos, hacen que la relación entre CEa y humedad del suelo sea un tema de particular importancia para el manejo agrícola local (GARCÍA-PÉREZ et al., 2018). La CEa ha sido utilizada en Uruguay como una herramienta para mapear la variabilidad espacial del suelo, ayudando en la identificación de áreas con diferentes capacidades de retención de agua y en la optimización de la aplicación de insumos agrícolas.

La humedad del suelo es uno de los factores más críticos para el crecimiento y desarrollo de las plantas, influyendo directamente en procesos como la disponibilidad de nutrientes, la actividad microbiana, la regulación térmica del suelo y la dinámica de absorción radicular (HILLEL, 2004). En Uruguay, donde la precipitación pluviométrica es altamente variable a lo largo del año, el monitoreo de la humedad del suelo es esencial para garantizar la sostenibilidad de los sistemas de producción. La CEa se ha mostrado como una herramienta prometedora para el monitoreo indirecto de la humedad del suelo, permitiendo la identificación de zonas homogéneas y la implementación de estrategias de manejo localizadas (PERDOMO et al., 2019).

La relación entre CEa y humedad del suelo en Uruguay está influenciada por factores como la textura del suelo, la densidad aparente y la presencia de sales solubles, que varían significativamente entre las diferentes regiones del país. Por ejemplo, en las áreas de suelos arcillosos del litoral oeste, la CEa tiende a ser más elevada debido a la mayor capacidad de retención de agua y a la presencia de iones intercambiables. En cambio, en las regiones con suelos arenosos, como en el norte del país, la CEa puede presentar mayor sensibilidad a las variaciones de humedad, reflejando la baja capacidad de retención de agua de estos suelos (GARCÍA-PÉREZ et al., 2018). La calibración de

modelos que relacionan CEa y humedad del suelo es, por lo tanto, esencial para garantizar la precisión de las estimaciones en diferentes condiciones edáficas y climáticas en Uruguay.

Este artículo tiene como objetivo investigar la relación entre conductividad eléctrica aparente y humedad del suelo en el contexto uruguayo, con énfasis en su aplicabilidad en la agricultura de precisión.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), ubicado en Treinta y tres, Uruguay. Se seleccionaron dos campos, uno de 12 ha (potrero 2) y otro de 10 ha (potrero 4) ubicados en la estación experimental Passo de la Laguna. Se utilizó un equipo Veris para medir la CE del suelo, se midió a 30cm (ECa30) y 90cm (ECa90) de profundidad y, posteriormente, un Eijkelkamp Penetrologger para registrar la humedad en diferentes puntos, se midieron 48 puntos de humedad en cada potrero. La combinación de estas mediciones nos ayuda a comprender mejor la relación entre conductividad y humedad, permitiéndonos avanzar en una gestión más precisa y sostenible de los suelos en estas zonas.

El análisis de datos contemplará una evaluación comparativa de la electroconductividad aparente del suelo (ECa) y la humedad de los potreros 2 y 4. Se calcularán métricas estadísticas de desempeño, incluyendo la regresión lineal y el coeficiente de correlación de Pearson (r) para evaluar la relación entre ambas fuentes de datos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados presentados corresponden a ecuaciones de regresión lineal y sus coeficientes de correlación (R) para mediciones de conductividad eléctrica aparente (ECa) en dos potreros de estudio (P2 y P4) y a dos profundidades (30 cm y 90 cm).

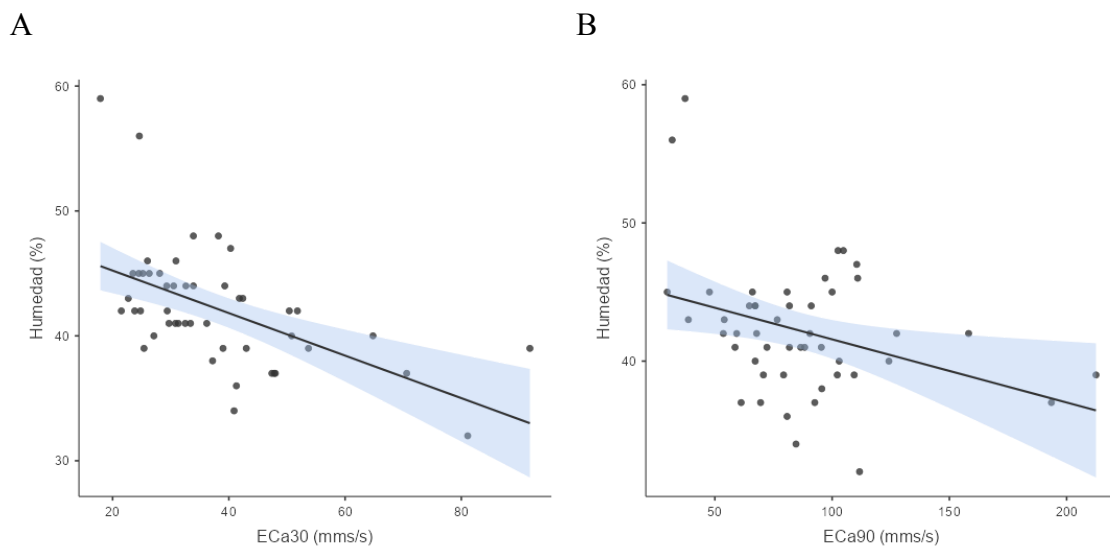


Figura 1. Regresión lineal entre conductividad aparente del suelo y humedad para potrero 2.

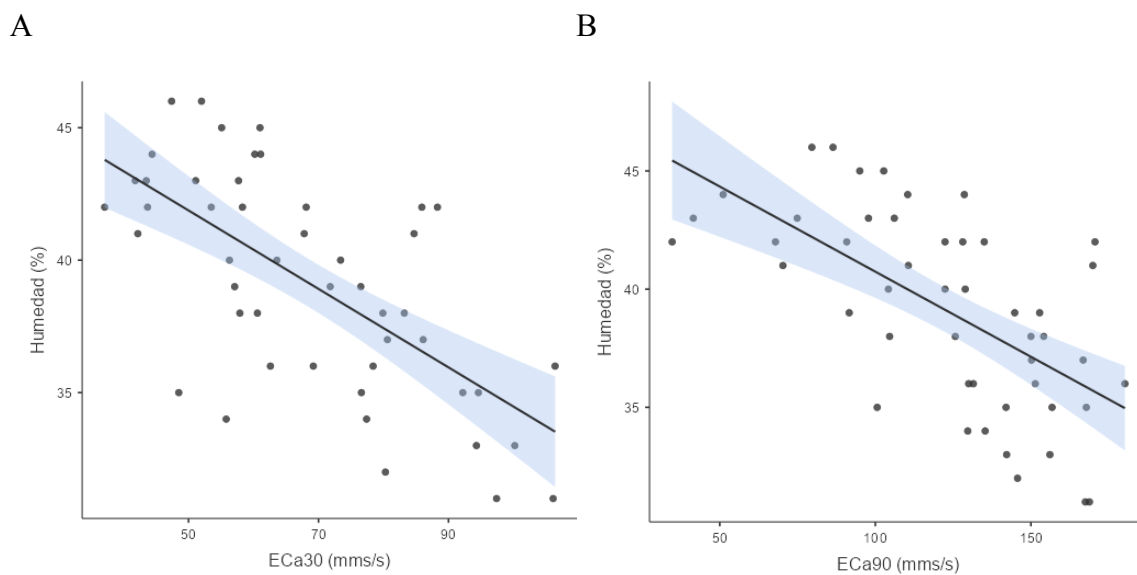


Figura 1. Regresión lineal entre conductividad aparente del suelo y humedad para potrero 4

En el potrero P2 (figuras 2A, 2C, 2E), para la medición de ECa30 a 30 cm de profundidad, se obtuvo la ecuación de regresión lineal $y = -0.1702x + 48.632$, con un coeficiente de correlación (R) de -0.54 (tabla 1). Este valor de R indica una correlación negativa moderada entre las variables, lo que sugiere que, a medida que la variable ECa30 aumenta, la variable humedad disminuye. La pendiente de -0.1702 implica que, por cada incremento unitario en ECa30 se espera una disminución de 0.1702 unidades en la humedad. Para la medición de ECa90 a 90 cm de profundidad, la ecuación de regresión es $y = -0.0457x + 46.147$, con un coeficiente de correlación de -0.34. En este caso, la pendiente menos pronunciada (-0.0457) sugiere una tasa de cambio más lenta en la humedad respecto a ECa90, y el coeficiente de correlación más bajo indica una relación lineal más débil entre las variables. Estas diferencias en la pendiente y la correlación pueden atribuirse a la variabilidad en las propiedades del suelo a diferentes profundidades, como se ha documentado en estudios previos (CORWIN & LESCH, 2005; SUDDUTH et al., 2003)

Tabla 1 - Correlación entre los datos de ECa y la humedad

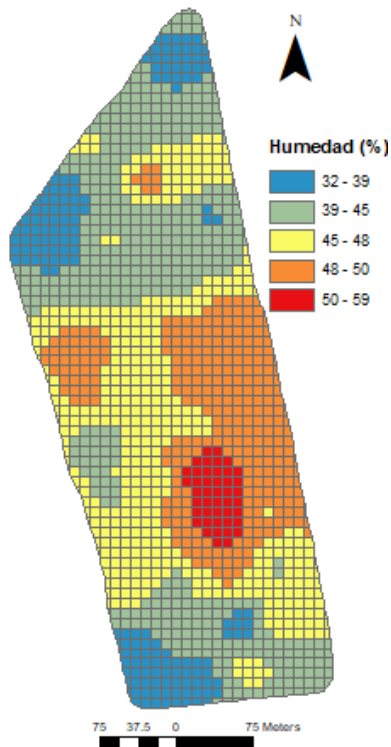
Campo	ECa	Ecuación	R*
P2	ECa30	$y = -0.1702x + 48.632$	-0.54
	ECa90	$y = -0.0457x + 46.147$	-0.34
P4	ECa30	$y = -0.1481x + 49.282$	-0.66
	ECa90	$y = -0.072x + 47.939$	-0.63

*(r) de pearson

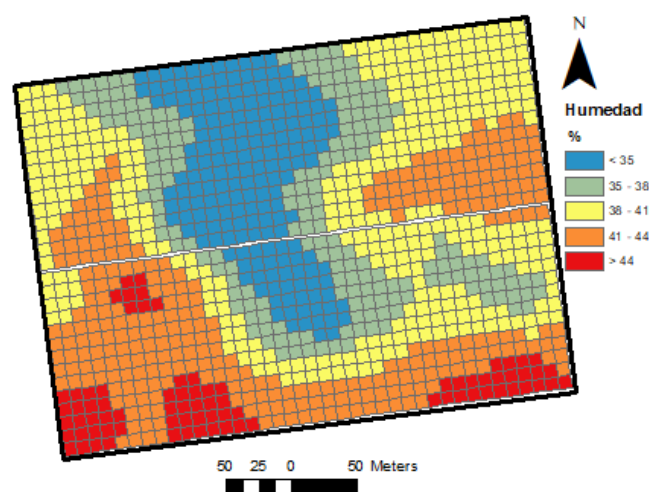
En el potrero P4 (figuras 2B, 2D, 2F), se observa una tendencia similar, pero con coeficientes de correlación más altos. Para ECa a 30 cm de profundidad, la ecuación de regresión es $y = -0.1481x + 49.282$, con un coeficiente de correlación de -0.66 (tabla 1). Este valor de R refleja una correlación negativa moderada-fuerte, lo que indica una relación más robusta entre las variables en comparación con el sitio P2. La pendiente de -0.1481 sugiere que, por cada incremento unitario en ECa a 30, la humedad disminuye en 0.1481 unidades. Para ECa a 90 cm de profundidad, la ecuación es $y = -0.072x + 47.939$, con un coeficiente de correlación de -0.63. Aunque la pendiente es menos pronunciada que a 30 cm, el coeficiente de correlación sigue siendo moderado-fuerte, lo que indica una relación lineal consistente entre las variables en este sitio. Estas diferencias entre sitios pueden deberse a variaciones en las propiedades

edáficas, como la textura, la humedad o la salinidad, factores que han sido ampliamente estudiados en relación con la conductividad eléctrica aparente (FRIEDMAN, 2005; JOHNSON ET AL., 2001).

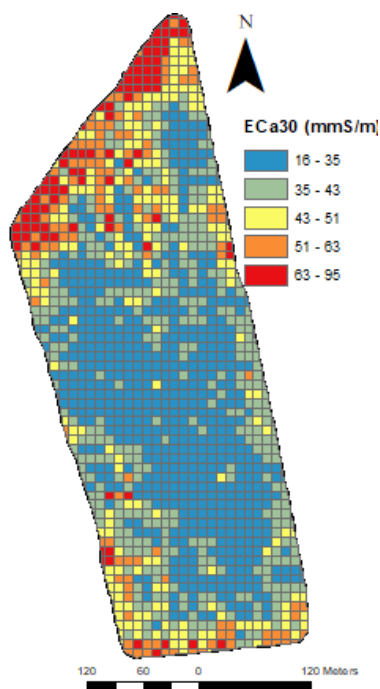
A



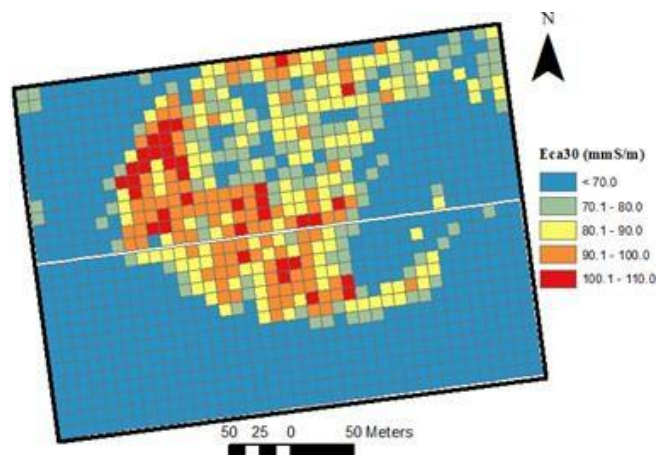
B



C



D



E

F

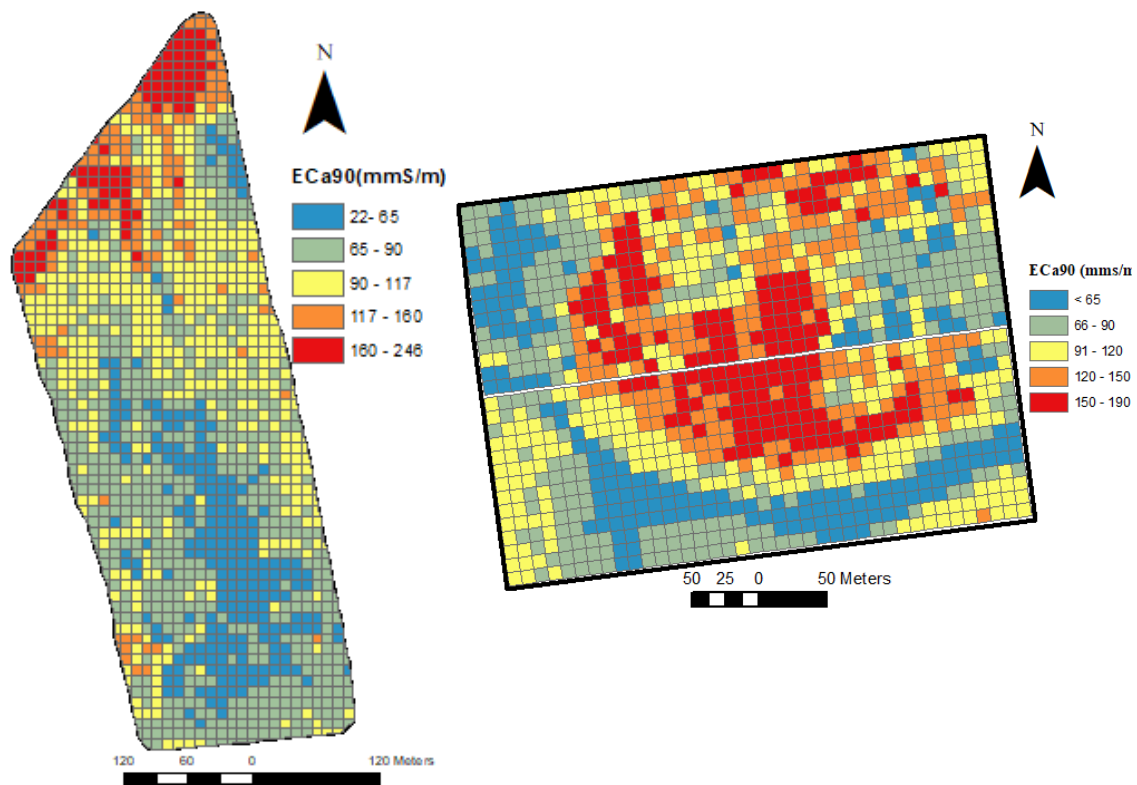


Figura 2. Las figuras A, C, E representan los valores de humedad (%), Eca30 (mmS/m) y Eca90 (mmS/m) para el potrero 2, y las figuras B, D, F representan los valores de humedad (%), Eca30 (mmS/m) y Eca90 (mmS/m) para el potrero 4.

CONCLUSION

En ambos sitios y profundidades, se observa una relación inversa entre las variables, evidenciada por pendientes negativas en todas las ecuaciones de regresión. Esto implica que, a medida que la variable independiente ECa aumenta, la variable dependiente humedad tiende a disminuir. Sin embargo, las correlaciones son más fuertes en el sitio P4 que en el sitio P2, lo que sugiere que la relación entre las variables es más clara y consistente en P4. Además, en ambos sitios, las pendientes son más pronunciadas a 30 cm que a 90 cm, lo que indica que la tasa de cambio en la humedad es más rápida cerca de la superficie. Asimismo, los coeficientes de correlación tienden a ser más altos a 30 cm, lo que sugiere que la relación lineal entre las variables es más evidente a menor profundidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CORWIN, D. L., & LESCH, S. M. (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, 46(1-3), 11-43.
- FRIEDMAN, S. P. (2005). Soil properties influencing apparent electrical conductivity: A review. **Computers and Electronics in Agriculture**, 46(1-3), 45-70.
- GARCÍA-PÉREZ, L., TERRA, J. A., & SAWCHIK, J. (2018). Caracterización de la variabilidad espacial de suelos en Uruguay mediante el uso de conductividad eléctrica aparente. **Agrociencia Uruguay**, 22(2), 1-12.
- HILLEL, D. (2004). Introduction to Environmental Soil Physics. Academic Press.
- Perdomo, C., Terra, J. A., & García-Pérez, L. (2019). Aplicación de la conductividad eléctrica aparente en la agricultura de precisión en Uruguay. **Revista INIA**, 55, 45-58.
- JOHNSON, C. K., DORAN, J. W., DUKE, H. R., WIENHOLD, B. J., ESKRIDGE, K. M., & SHANAHAN, J. F. (2001). Field-scale electrical conductivity mapping for delineating soil condition. **Soil Science Society of America Journal**, 65(6), 1829-1837.
- RHOADES, J. D., CHANDUVI, F., & LESCH, S. (1999). Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. FAO **Irrigation and Drainage Paper**.
- ROBINSON, D. A., JONES, S. B., WRAITH, J. M., OR, D., & FRIEDMAN, S. P. (2008). A review of advances in dielectric and electrical conductivity measurement in soils using time domain reflectometry. **Vadose Zone Journal**, 7(2), 358-389.
- SUDDUTH, K. A., KITCHEN, N. R., WIEBOLD, W. J., BATCHELOR, W. D., BOLLERO, G. A., BULLOCK, D. G., ... & PALM, H. L. (2003). Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, 46(1-3), 263-283.