

¿Qué medimos cuando analizamos la conductividad eléctrica de aguas y suelos?

**Antonela Iturri^{1,2}, Nanci Kloster^{1,3}, Carolina Beroisa¹, Cristian Álvarez³, Julián Isasti⁴,
Martín Díaz-Zorita¹**

¹ Fac. Agronomía UNLPam ²INCITAP (CONICET-UNLPam) ³EEA INTA Anguil

⁴Chacra América (AAPRESID)

*antonelaiturri@agro.unlpam.edu.ar

La medición de la conductividad eléctrica (CE) del agua y del suelo es un parámetro diagnóstico que brinda información indirecta e inespecífica del estado de estos sistemas. La definición “parámetro diagnóstico” puede asociarse con la medición de la temperatura en los seres humanos, la cual cuando es mayor o es menor a los 36,5-37,0 °C indica que “habría un problema en el sistema, sin indicar su causa”. La medida de CE es sencilla, rápida y de bajo costo, pudiendo realizarse, incluso, in situ. Sin embargo, tanto las condiciones para ejecutar el muestreo, como la medición de la CE y la interpretación del resultado para la toma de decisiones agronómicas tendientes a resolver problemas concretos, frecuentemente enfrentan dificultades asociadas. Por eso, en esta publicación, se describirán herramientas sencillas para la correcta indicación, medición e interpretación de la medida de CE.

1. ¿Qué es la conductividad eléctrica?

La CE es una medida del pasaje de la corriente eléctrica a través de un medio, en este caso, el agua o el suelo. Ese pasaje de corriente está dado por la migración de cationes (especies químicas con carga eléctrica positiva) y aniones (especies químicas con carga eléctrica negativa) que se encuentran en el medio agua o suelo, entre un polo positivo (cátodo) y uno negativo (ánodo), los cuales constituyen la celda del conductímetro. Este último es el instrumento que acusa la medida de CE.

El valor de CE es proporcional a la concentración de cationes y aniones del medio. Esto significa que, a mayor CE, mayor es el contenido total de sales en el agua o en la solución del suelo. Por ello, la medida de la CE permite estimar el contenido de sales disueltas de la muestra de agua o de sales en la solución del suelo.

2. ¿En qué unidades se mide la CE? y ¿en qué unidades debe expresarse?

La CE se mide en unidades de conductancia por unidad de distancia y como tales es como se expresan los resultados de esta evaluación. La conductancia es una medida del pasaje de la corriente eléctrica, inversa a la resistencia, y se expresa en Siemens (S). Por lo tanto, la medida de CE se expresa en Siemens por unidad de distancia. Como los valores de CE de agua y suelo son pequeños, es conveniente expresarla en su submúltiplo dS/m (deci Siemens por metro). Se recomienda el uso de esta unidad de expresión de la CE para adherir a estándares nacionales e internacionales y, fundamentalmente, para minimizar errores al momento de la interpretación del valor de la CE. Esta unidad de expresión del valor de la CE es numéricamente equivalente a otra frecuentemente encontrada en la literatura, el mS/cm (mili Siemens por centímetro), lo que significa que un agua cuya CE es de 1,9 expresada en mS/cm, tiene una CE de 1,9 dS/m.

La medida de la CE depende de la temperatura. Esto es porque la temperatura influye en la disolución de las sales y en la movilidad de los cationes y aniones. En general, como la disolución de las sales y la movilidad de los cationes y aniones aumentan con la temperatura, la CE también lo hace. Por ello, la medida de CE debe realizarse a temperatura controlada y conocida. Luego el valor medido se corrige mediante tablas para expresarlo en CE a 25°C. Cuando se usan conductímetros modernos, los cuales cuentan en su interior con un sensor de temperatura, la medición de la temperatura es controlada y el resultado de la CE medida es corregido automáticamente a 25°C, sin requerir de otros cálculos.

3. ¿Qué medimos cuándo analizamos la CE de una muestra de agua o de suelo?

Cuando se mide la CE de una muestra de agua, se cuantifica el pasaje de la corriente eléctrica entre un ánodo y un cátodo, generado por la cantidad y calidad de cationes y aniones disueltos en ella. Esto determina que la medición de CE de una muestra de agua se realice sobre una porción de la muestra tal cual, en la que se sumerge la celda del conductímetro junto con el sensor de temperatura.

En el suelo, la medida de la CE está también dada por la corriente eléctrica generada por migración de los cationes y aniones entre dos polos de carga opuesta, pero en este caso se trata de los cationes y aniones de la solución del suelo (Fig. 1).

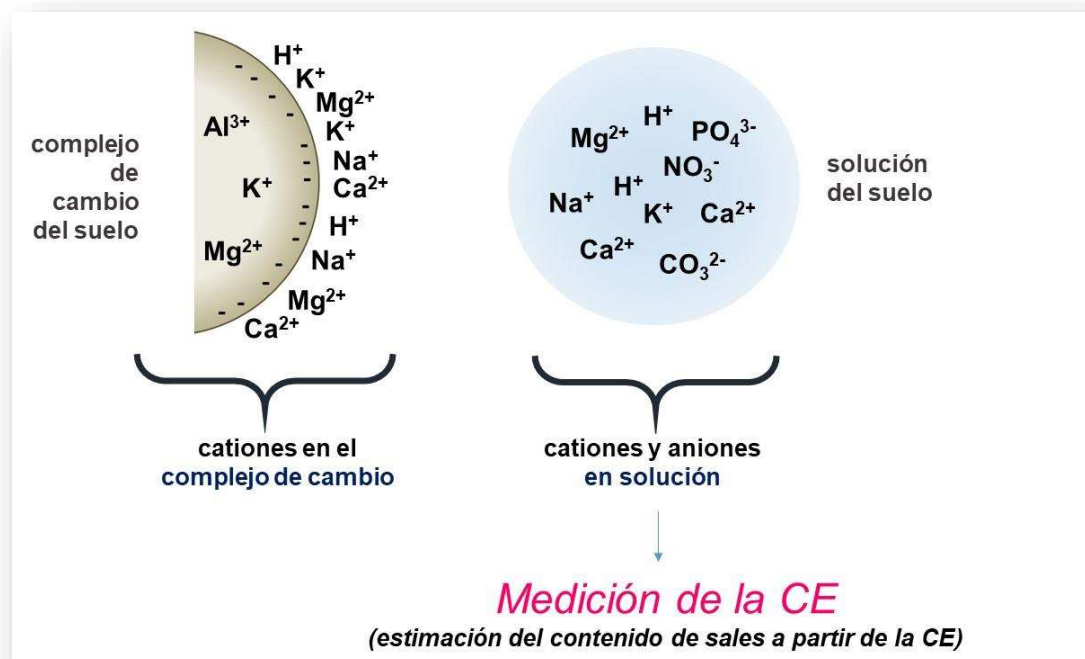


Figura 1. Representación esquemática del sistema suelo, indicando los cationes y aniones de la solución del suelo, determinantes de su conductividad eléctrica (CE). Autoras: Varela, F. & Iturri, A.

4. ¿Cómo se mide la CE en agua y en suelo?

La CE del agua se mide in situ o en el laboratorio, sumergiendo la celda del conductímetro junto con el sensor de temperatura en una porción de la muestra tal cual (Fig. 2.a).

La CE del suelo se mide en el laboratorio. El protocolo normalizado IRAM/SAGyP 29579:2021, propone la medición de CE en un extracto acuoso de suelo a saturación. Este extracto, llamado extracto de pasta saturada de suelo, se genera por filtración de una pasta de suelo saturado (Fig. 2.b), es decir, una porción de suelo que contiene toda el agua destilada (que es libre de cationes y aniones) que puede retener, sin excesos. La proporción de agua agregada al suelo para formar una pasta, dependerá de su textura. Así, suelos de textura fina alcanzarán la saturación por incorporación de un mayor volumen de agua destilada que los suelos de textura más gruesa. Sobre el extracto de pasta saturada, se sumerge la celda del conductímetro junto con el sensor de temperatura, y se obtiene el valor de CE. Este es el método más ampliamente usado a nivel nacional e internacional, para el cual se dispone de valores de referencia. El protocolo normalizado también propone en su Anexo B, a título informativo, la medición de la CE en un extracto acuoso en relación suelo:agua 1:2,5, generado a partir de la puesta en contacto de una parte de suelo con dos partes y media de agua destilada. Si bien esta metodología supone ciertas ventajas, como la repetibilidad del procedimiento y su simplicidad de ejecución en el laboratorio, al momento, no abundan valores de referencia o de aparición frecuente de la CE de suelos analizados por dicha metodología, lo cual dificulta su interpretación.

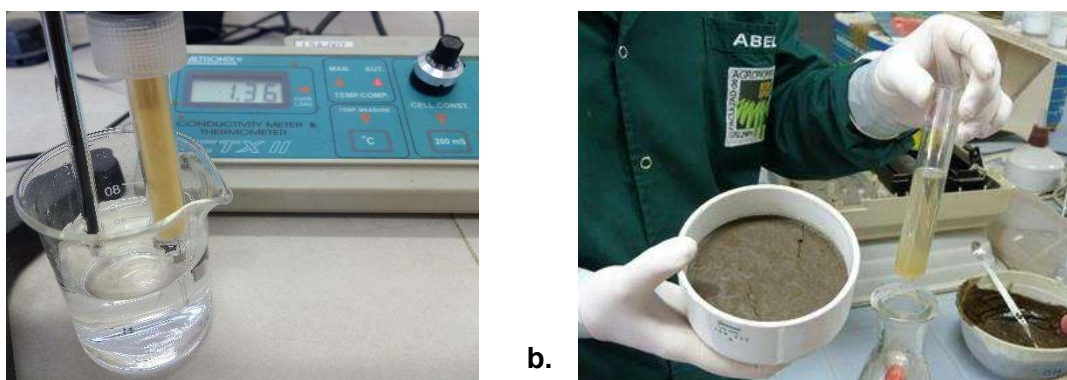


Figura 2. a) Medición de la conductividad eléctrica (CE) de una muestra de agua, b) Obtención del extracto de pasta saturada de suelo, luego del filtrado.

5. ¿Qué valores frecuentes de CE pueden medirse en un agua y en un suelo de La Pampa?

Los valores de CE en aguas y suelos de La Pampa son variables, desde valores muy bajos de CE que no representan problemas para el uso, ya sea del agua o del suelo ($CE < 2$ dS/m), hasta valores elevados, que limitan su uso y aprovechamiento. En la Tabla 1 se muestran, a modo de ejemplo, algunos valores de CE en aguas y en suelos con limitantes para su uso agrícola ganadero por problemáticas de salinidad. Además, para las muestras de agua se estima el contenido de Sales Totales en gramos por litro (g/L) a partir del valor de CE, multiplicando por el factor 0,64. Este factor es variable de acuerdo con la zona y solo aplicable a muestras de agua. En lo que respecta a suelos, debe considerarse que siempre un mayor valor de CE se relaciona directamente con un mayor valor de sales totales en la solución del suelo.

Tabla 1. Ejemplos de valores de CE en aguas y en extractos de pasta saturada de suelos de la provincia de La Pampa con problemáticas de salinidad.

Muestra	CE (dS/m)	Sales Totales (g/L)
Agua 1	13,5	8,6
Agua 2	4,26	2,7
Agua 3	10,1	6,5
Agua 4	12,4	7,9
Suelo 1	20,7	
Suelo 2	45,5	
Suelo 3	3,52	
Suelo 4	8,18	

Ahora bien, dado que la variabilidad analítica se reduce en el trabajo de laboratorio debido a la implementación de métodos normalizados, resulta clave para la obtención de resultados de CE de agua y suelo que sean interpretables y, por tanto, útiles, atender especialmente a la consigna de muestreo. Por ello, antes de solicitar el análisis de CE al laboratorio, debe definirse el objetivo de dicho análisis y, en función de este, definir el protocolo de muestreo.

6. ¿Qué requisitos particulares incluye un protocolo de muestreo para el análisis de CE?

Para definir los criterios de muestreo de suelo debemos, en primer lugar, preguntarnos: ¿en qué lugar o lugares se tomarán las muestras? y, ¿qué criterios se tienen que considerar al momento de elegir dónde tomar esas muestras (dónde colocar la herramienta de muestreo) en el sitio a evaluar? Para ello, los sitios a evaluar se seleccionarán por presencia de especies nativas/naturales (que se adaptan a la condición de ambiente), haciendo uso de variadas herramientas (índice de vegetación de diferencia normalizada, NDVI por su acrónimo en inglés, sensores remotos, imágenes de radar, entre otras). Por ejemplo, recurriendo a la identificación de la vegetación natural, pueden identificarse sectores de más baja a más alta salinidad, ordenados según la secuencia gramón < pelo de chancho < salicornia y otras carnosas < peladal (condiciones

sin vegetación por colores). También pueden identificarse ambientes según la vegetación introducida, recurriendo a herramientas tales como, por ejemplo, NDVI y mapas de rendimiento. Para cualquiera de los casos, las muestras de suelo se tomarán georreferenciadas y anidadas por comunidad vegetal/peladal.

En segundo lugar, debemos decidir la intensidad del muestreo, respondiendo a la pregunta: ¿cuántas muestras y sub-muestras se tomarán? Frecuentemente, a modo de criterio general, se sugiere la toma de 3 muestras por tipo de vegetación, estando cada una de esas muestras, compuesta por 10 a 20 sub-muestras (“piques” o “pinchazos”). La muestra que se envíe al laboratorio debe tener una masa de alrededor de 1 kg. La toma de las muestras debe realizarse en dos profundidades: de 0 a 5 cm y de 5 a 20 cm. En la Fig. 3 se muestran a modo de ejemplo algunas imágenes de la herramienta utilizada para realizar el muestreo.



Figura 3. Herramienta usada para la toma de muestra de suelo a dos profundidades: de 0 a 5 cm y de 5 a 20 cm.

La indicación de la profundidad de 0 a 5 cm se corresponde con el lugar de colocación de las semillas para su germinación. La profundidad de 5 a 20 cm se corresponde con la zona de exploración de las raíces del cultivo en etapas tempranas de su crecimiento. Tanto germinación como en su crecimiento temprano son los momentos de mayor sensibilidad a la salinidad y afectan la instalación de las especies. De ser posible, el muestreo puede hacerse de forma exhaustiva en profundidad, tomando muestras compuestas del suelo cada 20 cm hasta alcanzar el nivel freático. La distribución de sales en el perfil de los suelos es afectada por factores como la profundidad hasta la capa de agua freática (napa), la textura y la cobertura (Fig. 4). En el caso de árboles y pasturas, cuyas raíces exploran mayores profundidades del perfil de suelo, la toma de muestras frecuentemente se recomienda desde la superficie y hasta al menos 60 cm.

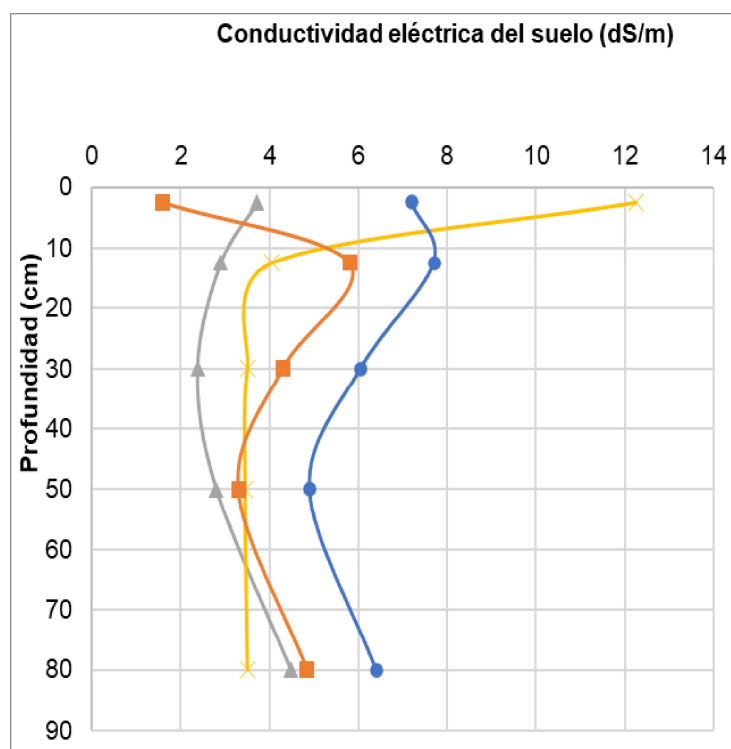


Figura 4. Variación en profundidad de la conductividad eléctrica en extracto de pasta saturada de suelos del noreste pampeano con el nivel freático a un metro de profundidad.

Dado que la CE varía temporalmente debido, principalmente, a la solubilidad de las sales y la disponibilidad de agua en el perfil de suelo, se sugiere que para planificar, entre otras variables de manejo, la elección de especies, densidades y tipos de siembra, el momento de muestreo sea próximo al momento de la siembra (no mayor a 2 semanas). La frecuencia del muestreo para la medición de la CE del suelo depende de las especies. En general, los muestreos son más frecuentes en secuencias de especies anuales (por ejemplo, cebada-sorgo/girasol) que en situaciones con especies perennes (por ejemplo, agropiro e intersembras de leguminosas). Cuando el objetivo del análisis es el monitoreo de la evolución de la CE del sitio, se sugiere realizar el muestreo con una frecuencia de aproximadamente 3 meses.

Una vez tomadas las muestras, cada una de ellas debe colocarse en una bolsa de nylon, y esta a su vez en una segunda bolsa, cerradas. Entre las bolsas, debe colocarse una etiqueta. Esta debe ser de papel y debe contener toda la información de la muestra que asegure su trazabilidad. La información para consignar en la etiqueta debe escribirse con lápiz para evitar que la humedad altere su legibilidad. A continuación, la muestra debe trasladarse al laboratorio a la mayor brevedad posible, sin necesidad de refrigeración, pero preferentemente al abrigo de la luz solar. Una vez en el laboratorio, debe solicitarse el análisis según la metodología elegida (como se mencionó anteriormente en 4., en un extracto acuoso preparado con una parte de suelo y dos partes y media de agua destilada, o sobre extracto de pasta de suelo saturado).

7. Napa freática: ¿por qué y cómo evaluamos su nivel y su composición?

La napa freática es una acumulación de agua subterránea que se encuentra bajo el nivel del suelo. Su profundidad, con respecto a la superficie, varía de un lugar a otro principalmente por la distancia sobre el nivel del mar en donde se encuentra el terreno, lo cual podría determinarse como constante, y por otros fenómenos propios de cada región. Para medir la profundidad en la que se encuentra la napa freática se usan freatómetros colocados en forma estratégica (ej. relieve, secuencia de cultivos, etc). Es fundamental hacer un seguimiento de la profundidad de la napa a lo largo del año, como así también de la composición del agua, permitiendo planificar el manejo del sistema productivo de forma eficaz aumentando la eficiencia en el uso del recurso. Las mediciones se realizan una vez estabilizado el freatómetro a las 24 h o después de purgado si este es fijo y de control temporal. La medición de profundidad se realiza con una varilla o cinta graduada. Para evaluar la composición del agua, se usa un muestreador o una válvula de paso de plomería, se vierte el líquido en un

envase limpio donde en el campo se realiza la medición de CE y de pH con un conductímetro-pHmetro. En el caso de enviar las muestras al laboratorio es importante envasar al menos 1 L y, además de solicitar la determinación de CE y de pH, incluir el análisis de aniones (cloruros, sulfatos, nitratos, carbonatos y bicarbonatos) y de cationes (calcio, magnesio, sodio y potasio).

8. Napa freática: algunas interpretaciones sobre su profundidad y salinidad

Cuando la napa freática se ubica a menos de 1,5 m de la superficie de los suelos, dependiendo del aporte de agua por lluvia y principalmente en suelos francos a francos limosos, podría ser un riesgo potencial para el normal crecimiento de los cultivos. Si se ubica entre 1,5 a 2,5 m podría ser favorable para el crecimiento de la mayoría de los cultivos extensivos y si es superior a 2,5 m no influiría directamente sobre el crecimiento en los cultivos. En el caso de ambientes con suelos arenosos o arenosos francos con niveles freáticos cercanos a 1 m de profundidad no se presentarían riesgos de transitabilidad ni de anegamiento, dado que el ascenso capilar es de entre 60 y 70 cm sobre el nivel freático. La napa freática óptima en donde se maximizan los rendimientos en suelos sin impedimentos físicos oscila entre 1,40 a 2,40 m para maíz, entre 1,2 a 2,2 m para soja y entre 0,70 a 1,65 m para trigo.

Al interpretar el contenido salino según la CE de la napa freática, si los valores son menores a 0,8 dS/m se los considera como aceptables para la normal germinación y crecimiento de cultivos. En cambio, hasta 3,0 dS/m se reduce la productividad de algunos cultivos, por ejemplo, maíz (alta sensibilidad). En el caso de detectarse valores de hasta 8,0 dS/m sólo se recomienda la instalación de cultivos tolerantes (ej. festuca, grama rhodes, lotus corniculatus girasol, sorgo y trigo). Cuando la CE supera 8,0 dS/m se aconseja el cultivo de especies muy tolerantes (ej. agropiro, melilotus alba, lotus tenuis, triticale, cebada, acelga, quinoa, etc.).

Si bien la presencia de especies químicas (cationes y aniones) en la napa puede representar ser un problema para la productividad de los cultivos, algunos de ellos son especies nutrientes, a veces deficitarias bajo condiciones normales. Por ejemplo, el azufre que es un elemento a menudo limitante para el normal crecimiento de los cultivos en suelos arenosos y pobres en materia orgánica, que puede ser aportado como sulfato disuelto en el agua de la napa.