

Comparación de metodologías de determinación de la conductividad eléctrica y concentración iónica en suelos de la provincia de Buenos Aires

Comparison of methodologies to determination of electrical conductivity and ionic concentration in soils of the province of Buenos Aires

Comparação de metodologias para determinação da condutividade elétrica e concentração iônica em solos da província de Buenos Aires

Víctor Hugo Merani¹, Guillermo José Millan¹, Daniel Adalberto Ferro¹, Luciano Larrieu¹, Daniel Bennardi¹, Nicolás Polich¹, Luciano Juan¹, Florencia Marlene Bongiorno²

¹ CISSAF Facultad de Cs Agrarias y Forestales UNLP

² Facultad de Cs Agrarias y Forestales UNLP

daniel.ferro@agro.unlp.edu.ar

DOI: <https://doi.org/10.35305/agro34.277>

Recibido: 18/06/2019 Aceptado: 21/11/2019

Resumen

La salinidad del suelo es uno de los factores que mayores limitaciones ofrece a la explotación agropecuaria. Ocupa el segundo lugar como causante de la degradación mundial de suelos, detrás de la erosión. La determinación de la Conductividad Eléctrica (CE) es la metodología indirecta más utilizada en la determinación de sales. Se utilizaron 63 muestras de suelo pertenecientes a la región ecológica denominada Pampa Húmeda Argentina. Se realizó el muestreo, secado y desagregado de los suelos y luego se procedió con la homogeneización, molienda y tamizado por 2 mm. Se preparó la pasta saturada y se la dividió en cuatro fracciones. A la primera fracción se midió la CE a los 10 min y a las 24 h de reposo. La segunda y tercera fracción se filtró con vacío a los 10 min y 24 h de reposo, respectivamente, para obtener en cada caso el extracto de saturación y medir la CE. En la cuarta fracción se obtuvo el quintuple extracto según Nijensohn, 1988. Para bajos valores de CE los resultados que se obtienen empleando las metodologías estudiadas son similares. A partir de alrededor de 1 dS m⁻¹ comienzan a divergir. Asimismo, puede verse que prácticamente no hay diferencias entre los valores de CE hasta alrededor de 20 dS m⁻¹. Se obtuvieron modelos de regresión lineal que permiten estimar la CE a las 24h, como así también la concentración iónica y la RAS en los mismos extractos a partir de metodología que reducen el tiempo de reposo de la pasta saturada y en consecuencia se logra agilizar el proceso de determinación y diagnóstico de la alcalinidad de los suelos.

Palabras claves: salinidad; métodos abreviados de laboratorio; Pampa Argentina

Abstract

Soil salinity is one of the factors that offers the greatest limitations to agricultural exploitation. It occupies second place as the cause of global soil degradation, behind erosion. The determination of Electrical Conductivity (EC) is the indirect methodology most used in the determination of salts. 63 soil samples belonging to the ecological region called Pampa Humid Argentina were used. Sampling, drying and disaggregation of the soils was carried out and then the homogenization, grinding and sieving was carried out for 2 mm. The saturated paste was prepared and divided into four fractions. At the first fraction the EC was measured at 10 min and at 24 h of rest. The second and third fraction was filtered with vacuum at 10 min and 24 h of rest, respectively, to obtain in each case the saturation extract and measure the EC. In the fourth fraction, the quintuple extract was obtained according to Nijensohn, 1988. For low EC values, the results obtained using the methodologies studied are similar. From about 1 dS m⁻¹ begin to diverge. Likewise, it can be seen that there are practically no differences between the EC values up to about 20 dS m⁻¹. Linear regression models were obtained that allow us to estimate the EC at 24 h, as well as the

ionic concentration and the RAS in the same extracts based on a methodology that reduces the rest time of the saturated paste and, consequently, the process is streamlined of determination and diagnosis of soil alkalinity.

Keywords: salinity; abbreviated laboratory methods; Argentinian Pampas

Resumo

A salinidade do solo é um dos fatores que oferece as maiores limitações à exploração agrícola. Ocupa o segundo lugar como a causa da degradação global do solo, por trás da erosão. A determinação da condutividade elétrica (CE) é a metodologia indireta mais utilizada na determinação de sais. Foram utilizadas 63 amostras de solo pertencentes à região ecológica denominada Pampa Humid Argentina. A amostragem, secagem e desagregação dos solos foram realizadas e, em seguida, a homogeneização, moagem e peneiração foram realizadas por 2 mm. A pasta saturada foi preparada e dividida em quatro frações. Na primeira fração, o CE foi medido em 10 minutos e em 24 horas de descanso. A segunda e a terceira fração foram filtradas com vácuo a 10 min e 24 h de descanso, respectivamente, para obter em cada caso o extrato de saturação e medir a CE. Na quarta fração, o extrato quádruplo foi obtido de acordo com Nijensohn, 1988. Para valores baixos de CE, os resultados obtidos usando a metodologia estudada são semelhantes. A partir de cerca de 1 dS m^{-1} , começa a divergir. Da mesma forma, pode-se observar que praticamente não existem diferenças entre os valores de EC de até 20 dS m^{-1} . Foram obtidos modelos de regressão linear que permitem estimar a CE em 24 h, bem como a concentração iônica e o RAS nos mesmos extratos, com base em uma metodologia que reduz o tempo de descanso da pasta saturada e, conseqüentemente, é possível acelerar a processo de determinação e diagnóstico da alcalinidade do solo.

Palavras chaves: salinidade; métodos laboratoriais abreviados; Pampa Argentina

Introducción

La salinidad del suelo es uno de los factores que mayores limitaciones ofrece a la actividad agropecuaria. FAO (2019) estimó que el área total de suelos salinos del mundo era de 397 millones de ha en los años 1970/1980, representando el 3,1 % del área total. Además, FAO (2002a) afirmó que este proceso afecta entre 20 y 30 millones de las 260 millones de ha de tierra de regadío del mundo, representando entre el 7,8 y 11,5 %.

Según Puchulu (2008), Argentina es el tercer país en el mundo con áreas extensas salinizadas luego de Rusia y Australia, alcanzando, tal como mencionan Siebert *et al.* (2006), una superficie afectada por sales de 600.000 ha en Argentina para el año 2006. Además, la salinización ocupa el segundo lugar como fenómeno causante de la degradación de suelos en Argentina, luego de la erosión (Casas y Albarracín, 2015).

A nivel mundial, la agricultura representa el 69 por ciento de todas las extracciones de agua (FAO, 2002a). Aunque los recursos hídricos para la agricultura a menudo se usan en exceso y se usan indebidamente, la creencia general es que la agricultura de regadío debe expandirse en un 20-30 % para 2025 a fin de producir alimentos suficientes para la creciente población mundial (FAO, 2002b). Una de las principales causas de deterioro de los suelos en las regiones áridas y semiáridas bajo regadío es la salinización, ya sea por elevación del plano freático, disolución de las sales presentes en el perfil del suelo regado o agregado de las mismas en el proceso de riego con aguas provenientes de fuentes con sales en solución. En las regiones húmedas de Argentina la situación de deterioro es causada por la presencia de sodio, de origen natural y antrópico, con el consecuente deterioro de la matriz del suelo (Sánchez *et al.*, 2016).

Las sales se encuentran en el agua de riego a partir de la meteorización de las rocas, además de la disolución lenta del carbonato de calcio, sulfato de calcio y de otros minerales. Para mantener las condiciones de humedad favorables para un crecimiento óptimo de los cultivos y para controlar la salinidad del suelo, el desarrollo del drenaje es indispensable especialmente en las zonas de aguas subterráneas salinas (FAO, 2002b), se estima que 10-20 % de la tierra irrigada ya está equipada con drenaje; 20-40 % del área irrigada no necesita drenaje artificial; mientras

que 40-60 % necesita drenaje pero permanece sin instalaciones de drenaje ([Smedema y Rycroft, 1988](#)).

Debido a la importancia de la problemática, desde los comienzos de su estudio se han desarrollado metodologías para el diagnóstico y cuantificación de salinidad en suelos ([USSL, 1954](#), [Sonmez et al., 2008](#); [Hardiey Doyle, 2012](#); [Zhu, 2012](#)). La determinación de la conductividad eléctrica (CE) es la metodología indirecta más utilizada en la determinación de sales. El método de referencia utilizado para la determinación de la CE en suelos es el que se realiza en el extracto de la pasta saturada de suelo descrito en el Agriculture Handbook 60 ([USSL, 1954](#)). Dicha metodología ha tenido una alta aceptación debido a que el estado de saturación representa una de las variables hídricas del suelo y por consiguiente corrige la dilución de sales en función de la textura. El extracto de pasta saturada es más representativo de las condiciones del ambiente radical, al ser el que más se aproxima en composición a la fase líquida del suelo en el rango de su humedad natural. En efecto, al corresponder el porcentaje de saturación a un valor energético determinado en la curva de capacidad hídrica del suelo ([Nijensohn, 1961](#)), su obtención corrige automáticamente los efectos de la textura sobre la concentración salina de la solución del suelo, y disminuye los efectos que ejercen las diluciones de relación fija sobre las sales de solubilidad limitada y sobre los equilibrios de intercambio ([Nijensohn, 1988](#)). Es por eso que la mayor parte de los datos experimentales relacionados con la cuantificación de la tolerancia de los cultivos a la salinidad están expresados como valores de CE en extracto de saturación ([Maasy Hoffman, 1977](#)). Asimismo, desde el punto de vista agronómico, se justifica la determinación en ese extracto debido a la correlación de medición relacionada al desarrollo de las raíces de los cultivos, asemejándose al ambiente natural de exposición ([Allred et al., 2008](#)). Del mismo modo, la concentración de iones y sales en el extracto de saturación guarda relación con otras variables hídricas como contenido hídrico del suelo a capacidad de campo (0,3 atm) y el contenido hídrico del suelo en punto de marchitez permanente (15 atm).

Por otro lado, el método de determinación de CE en extracto de saturación implica un elevado consumo de tiempo (reposo de pasta saturada por 24 h) y necesidad de contar con equipamiento específico (dispositivos de filtración al vacío). Por estos motivos, ha existido interés en desarrollar metodologías alternativas que puedan correlacionarse con la técnica de referencia y que puedan llevarse a cabo en menores tiempos o prescindiendo de la filtración con vacío. Para ello, se han efectuado estudios en los que se estima la CE del extracto de saturación a partir de lecturas en la pasta saturada o en el suelo saturado directamente ([USSL, 1954](#); [Slavich y Petterson, 1990](#); [Zalbaet et al., 2013](#); [Amakor et al. 2014](#)), como también en extractos obtenidos de suspensiones con diferentes relaciones suelo: agua ([Abrisqueta et al., 1962](#); [Tucker y Betty, 1974](#); [Hogg y Henry, 1984](#); [Nijensohn, 1988](#); [Zhang et al., 2005](#); [Sonmez et al., 2008](#); [He et al., 2013](#); [Aboukila y Norton, 2017](#)). Existen escasos estudios acerca del efecto de la reducción del tiempo de reposo de la pasta de suelo saturada para la determinación, factor importante a considerar en el objetivo de reducir los tiempos y simplificar la determinación.

Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) Desarrollar y validar modelos de regresión que permitan estimar la CE del extracto de saturación a las 24 h a partir de su medida directamente en la pasta saturada y con relación suelo:agua de 1:5 en suelos de diferentes texturas de la provincia de Buenos Aires; 2) Desarrollar y validar modelos de regresión que puedan ser utilizados para estimar la concentración iónica y la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) en el extracto de saturación a las 24 h a partir de las determinaciones de éstas en el quintuple extracto de la pasta de saturación de los suelos citados 3) Estudiar el efecto producido en los valores de CE, la concentración iónica y la RAS en el extracto de saturación al reducir el tiempo de reposo de la pasta saturada.

Materiales y métodos

Suelos

Se utilizaron muestras de 63 suelos de la provincia de Buenos Aires seleccionados en función de obtener diversidad y características contrastantes en sus propiedades fisicoquímicas, siendo el principal parámetro de selección la textura ([Tabla 1](#)). Las muestras se extrajeron del horizonte superficial (0 a 20 cm) a partir de 10 submuestras por muestra de suelo para superficies de 50 ha. El acondicionamiento se realizó por secado en estufas de circulación forzada a 40°C hasta peso constante y posterior tamizado por 2 mm.

Tabla 1: Suelos utilizados en función de la textura del horizonte superficial (0-20 cm).

Suelos	Texturas
1;2;8;17;18;27;35;41;42;43;51;52;56;57	Franco Limoso
5;7;30;31;39;46;49;53;59	Arenoso
9;10;11;12;13;21;22;36;58	Franco
14;19;20;32;34;40;47;48;54	Franco-Francoarcilloso
15;16;23;24;33;45	Franco-Francolimoso
3;4;6;25;26;37;38;44;50;55;60;61;63	Franco Arenoso

Determinación de la CE

Se preparó la pasta saturada en cada suelo de acuerdo con lo descrito en Rhoades *et al.*, (1999) y en base a protocolos SAMLA (2004). Posteriormente, se subdividió cada una en cuatro fracciones:

- en la primera fracción se midió la CE en la pasta saturada a los 10 min (CEps10) y a las 24 h de reposo (CEps24)
- la segunda fracción se filtró con vacío a los 10 min de reposo para obtener el extracto de saturación (Ext10) y se determinó la CE (CEext10)
- la tercera fracción se filtró con vacío a las 24 h de reposo para obtener el extracto de saturación (Ext24) y se determinó la CE (CEext24)
- a la cuarta fracción se le adicionó un volumen de agua destilada equivalente a cuatro veces del empleado para alcanzar la pasta saturada ([Nijensohn, 1988](#)). Se resuspendió cada 5 min en un lapso de tiempo de 30 min, se centrifugó y se filtró con el objetivo de separar la fase líquida, obteniendo el quintuple extracto de la pasta de saturación (Ext1:5), en donde se midió la CE (CEext1:5).

La CE fue determinada en todos los casos con un conductímetro digital marca Digicom® modelo 2006. Se emplearon 47 de las 63 muestras seleccionadas al azar para desarrollar los modelos predictivos mediante regresiones lineales simples, analizando los valores de CE encontrados en cada fracción, utilizando el software estadístico InfoStat® ([Di Rienzo *et al.*, 2016](#)). Las restantes 16 muestras se utilizaron para validar el modelo mediante la comparación entre el valor medido y el valor predicho por el modelo generado. Para la validación se graficaron los resultados experimentales versus los predichos por los modelos.

Determinación de la concentración iónica

Se seleccionaron 27 de las 47 muestras utilizadas para la generación de los modelos seleccionadas por su CE_{ext24} mayor a 1 dS m⁻¹, umbral considerado no salino para la mayoría de los cultivos. En las muestras seleccionadas se determinó la concentración iónica de Cl⁻, HCO₃⁻, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ y K⁺ en los extractos Ext24, Ext10 y Ext1:5 según lo establecido en el SAMLA (2004):

- Ca⁺² y Mg⁺²: por complejometría con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA).
- Na⁺ y K⁺: por fotometría de llama.
- Cl⁻ por argentometría
- HCO₃⁻: por acidimetría

En todos los casos se calculó la RAS mediante la siguiente expresión:

$$RAS = \frac{cNa}{\frac{\sqrt{cCa+cMg}}{2}}$$

Donde cNa es la concentración de Na⁺ (meq L⁻¹), cCa es la concentración de Ca⁺² (meq L⁻¹) y cMg es la concentración de Mg⁺² (meq L⁻¹).

Posteriormente, se validaron los modelos mediante la determinación de la RAS en las mismas 16 muestras seleccionadas al azar al inicio del ensayo que también se utilizaron en la validación de los modelos de CE. Se analizaron las concentraciones de los diferentes iones y la RAS en los extractos Ext10min con las halladas en los Ext24h, obteniéndose para cada ión y la RAS un modelo de regresión lineal con su correspondiente R² (p<0,01). Del mismo modo, las concentraciones de los iones y la RAS en Ext1:5 se compararon con las encontradas en los Ext24h, obteniéndose modelos de regresión lineal con su correspondiente R² (p<0,01). Para la validación se graficaron los resultados experimentales versus los predichos por los modelos.

Resultados y discusión

Determinación de la CE

Se observa que para bajos valores de CE los resultados que se obtienen empleando las metodologías estudiadas son similares (Figura 1A). A partir de cierto valor de CE, alrededor de 1 dS m⁻¹ de CE_{ext24h}, comienzan a divergir (Figura 1B), y en esta situación, los valores de CE_{ext10} y CE_{ext24} fueron mayores que los correspondientes a CE_{eps10} y CE_{eps24}, y estos últimos, a su vez, fueron superiores en la mayoría de los casos que la CE_{ext1:5}. La diferencia que existe entre los valores obtenidos midiendo la CE en pasta y en extracto se explicaría por

el efecto de resistencia a la movilidad de los iones que produce el sólido debido a sus cargas superficiales y a los caminos tortuosos por los que deben moverse los iones (Rhoades *et al.*, 1999; Zalba *et al.*, 2013). Los valores bajos de la CEext1:5 se asociarían al efecto de dilución de los iones presente en comparación a la CE medida en el extracto de saturación. Asimismo, puede verse que prácticamente no hay diferencias entre los valores de CEext10 y CEext24 hasta el valor máximo de alrededor de 20 dS m⁻¹. Para el caso de la determinación de la CE en pasta saturada no se observan diferencias entre CEps10 y CEps24 hasta un valor de alrededor de 2,2dS m⁻¹.

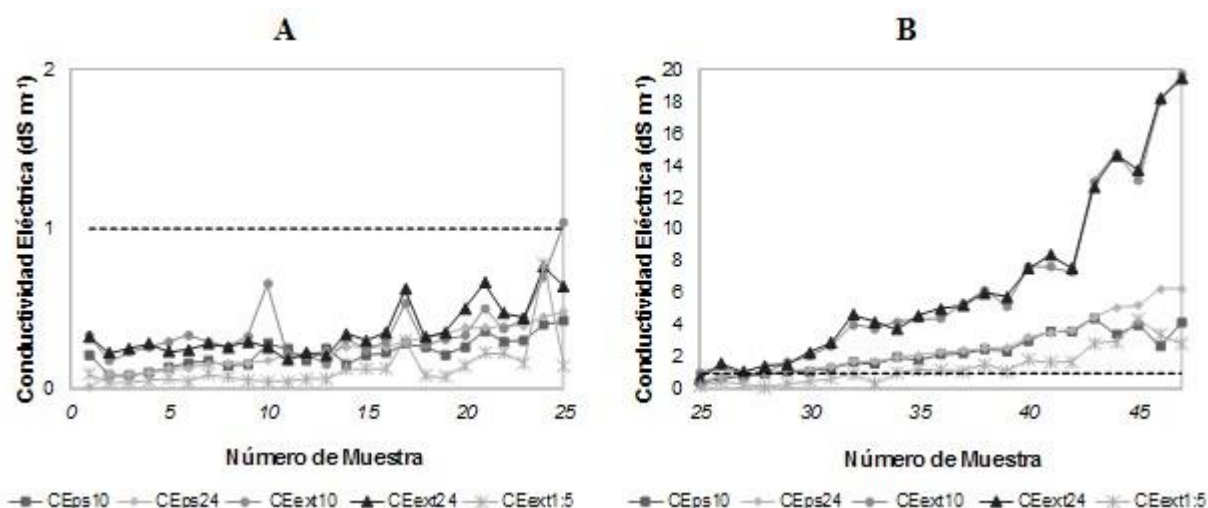


Figura 1: Valores de la conductividad eléctrica (CE) obtenidos en cada muestra y utilizándolas diferentes metodologías estudiadas expresadas en dS m⁻¹. A: Muestras de la 0 a 25 y B: muestras de la 25 a 47. Donde: CEps10:conductividad eléctrica en pasta de saturación a los 10 min. Siendo: CEps24: conductividad eléctrica en pasta de saturación a las 24 h; CEext10: conductividad eléctrica en extracto de pasta de saturación a los 10 min; CEext24: conductividad eléctrica en extracto de pasta de saturación a las 24 h; CEext1:5: conductividad eléctrica en el quíntuple extracto de saturación. La línea punteada indica los valores de 1 dS m⁻¹(n: 47).

La variabilidad de los modelos encontrados en este trabajo (Figura 2) se podría asociar a lo mencionado por Sonmez *et al.* (2008) quienes encontraron que los valores de las pendientes de los modelos dependen del contenido y tipo de arcilla de los suelos. Los mayores valores de R² corresponden a los modelos que permiten estimar la CEext24 a partir de la CEps24 (R²: 0,98; Figura 2A), CEext1:5 (R²: 0,90; Figura 2C) y CEext10 (R²: 0,997; Figura 3). Puede verse que el modelo que predice la CEext24 a partir de la CEext1:5 presenta un valor de R² más bajo. Esto podría suceder como consecuencia del tipo y solubilidad de sales presentes en el suelo ya que las sales precipitadas, al aumentar la dilución, se solubilizan manteniendo constante la CE. Sin embargo, la sales que se encontraban totalmente solubilizadas en el extracto, al aumentar la relación agua:suelo, disminuirían su concentración por dilución y se reduciría el valor de CE (Hogg and Henry, 1984; Visconti, *et al.*, 2010; He *et al.*, 2013 y 2015). Además, debe tenerse en cuenta que la variación de la CE con la dilución depende de la composición iónica de la solución, es decir, que la predominancia de iones de alta solubilidad en suelos (cloruros), y por ende solubilizados totalmente en el extracto de pasta saturada, provoca que disminuya el valor final de CE por dilución ante el aumento de la relación agua/suelo (Liu *et al.*, 2006; Visconti *et al.*, 2010). Por otro lado, se observaron valores similares midiendo la CE a los 10 min y a las 24 h de tiempo de reposo de la pasta saturada hasta valores de aproximadamente 2,5 dS m⁻¹ (Figuras 1 y Figura 4).

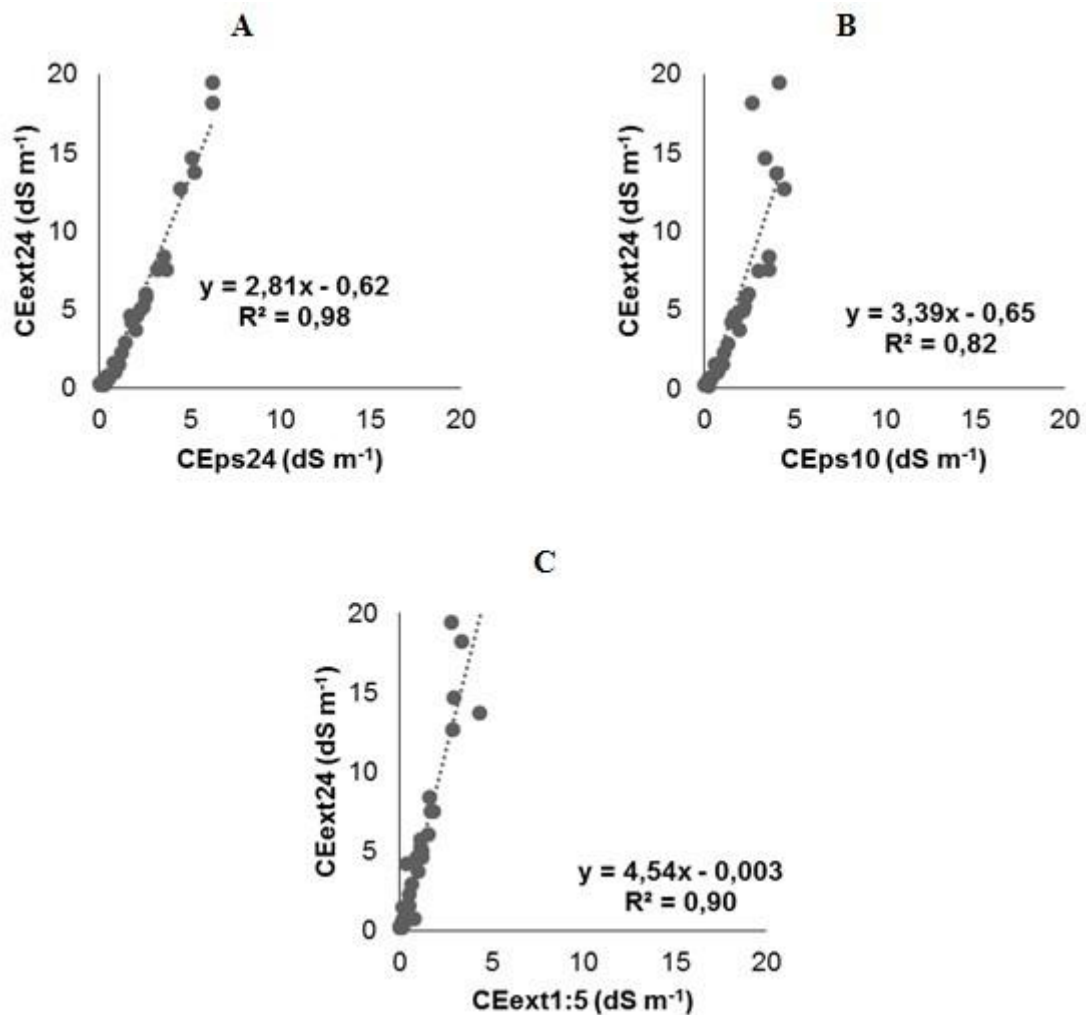


Figura 2: Regresión de la conductividad eléctrica en extracto de saturación a las 24 hs (CEExt24) expresada en $dS\ m^{-1}$ en función de: A: conductividad eléctrica en pasta de saturación a las 24 h (CEps24) expresada en $dS\ m^{-1}$; B: conductividad eléctrica en pasta de saturación a los 10 min (CEps10) expresada en $dS\ m^{-1}$ y C: conductividad eléctrica en el quintuple extracto de saturación (CE1:5) expresada en $dS\ m^{-1}$. Las líneas observadas corresponden a la regresión lineal, presentando la respectiva función y grado de ajuste ($n = 47$)

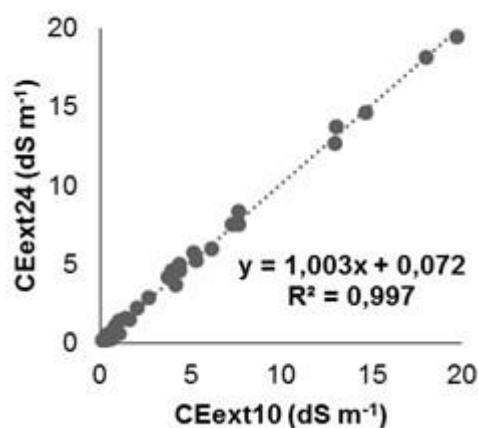


Figura 3: Regresión de la conductividad eléctrica en extracto de saturación a las 24 hs (CEExt24) expresada en

dS m⁻¹ en función de la conductividad eléctrica medida en el extracto de saturación a los 10 min (CEext10) expresada en dS m⁻¹. Las líneas observadas corresponde a la regresión lineal, presentando la respectiva función y grado de ajuste (n: 47)

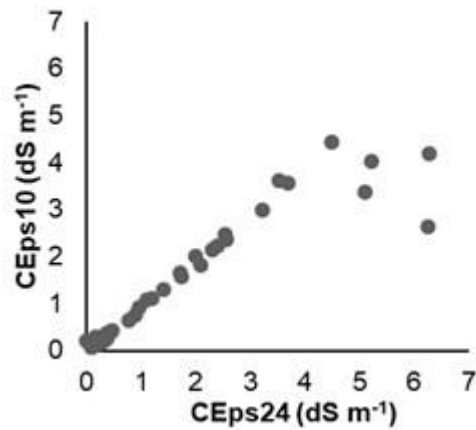


Figura 4: Relación entre la conductividad eléctrica en pasta de saturación a los 10 min (CEps10) expresada en dS m⁻¹ en función de la conductividad eléctrica medida en pasta de saturación a las 24 h expresada en dS m⁻¹ (n: 47).

Al realizar la validación de los modelos empleando las 16 muestras que no fueron utilizadas en la obtención de los modelos puede observarse que en todos los casos las pendientes resultaron cercanas a 1, es decir, los valores de CE estimados fueron cercanos a los experimentales ([Figura 5](#)).

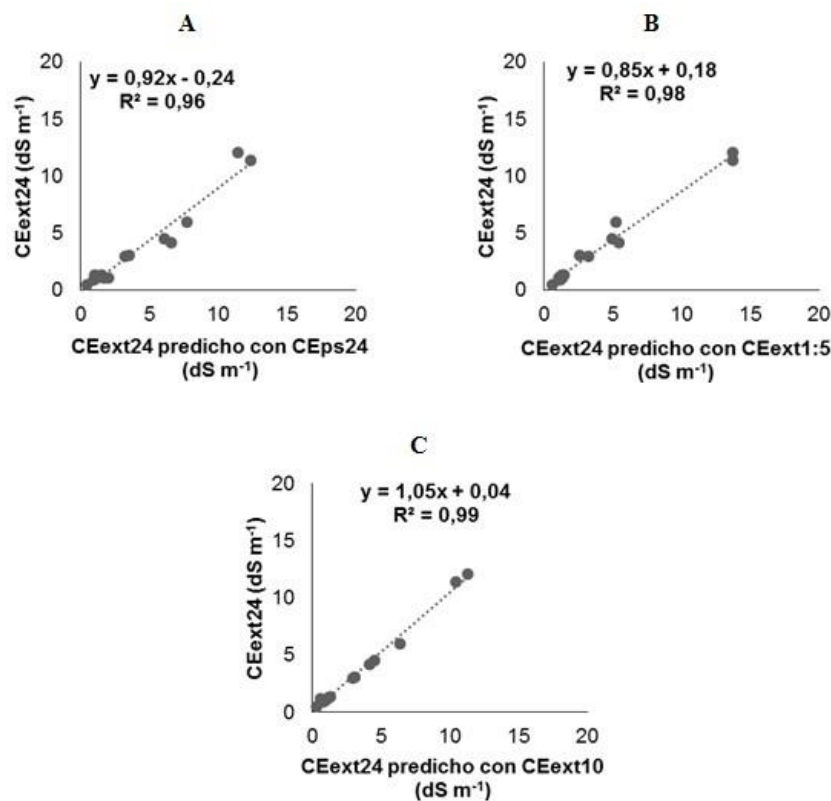


Figura 5: Valores de conductividad eléctrica observados en el extracto de saturación a las 24 h (CEext24)

expresados en dS m^{-1} en relación a los predichos por los modelos encontrados de mayor R^2 , siendo las variables regresoras de los modelos: **A**: conductividad eléctrica en la pasta de saturación medida a las 24 h (CEps24) expresadas en dS m^{-1} ; **B**: conductividad eléctrica en el quintuple extracto de saturación (CEext1:5) expresadas en dS m^{-1} y **C**: conductividad eléctrica en el extracto de saturación medida a los 10 min (CEext10) expresadas en dS m^{-1} . Las líneas observadas corresponden a la regresión lineal, presentando la respectiva función y grado de ajuste (n: 16)

Determinación de la concentración iónica y la RAS

Existió una alta correlación ($R^2 > 0,90$) de las concentraciones iónicas y RAS en los extractos Ext24h con las correspondientes a los extractos Ext10min, con excepción del ión HCO_3^- ($R^2 = 0,678$, [Figura 6](#)) y una baja correlación de las concentraciones iónicas y RAS en los extractos Ext24h con las correspondientes a los extractos Ext1:5, excepto en el caso del ión Ca^{+2} ($R^2 = 0,947$, [Figura 7](#)). Esta baja correlación, a diferencia de lo reportado por [Sonmezet al. \(2008\)](#), podría deberse al empleo de relaciones fijas que no contemplan las variables hídricas relacionadas con la textura y tipo de arcilla, (Tabla 1) ni la diferente solubilidad de las sales de los suelos empleados ([Sonmezet al., 2008](#), [Zhanget al., 2005](#), [He et al., 2015](#), [Visconti et al., 2010](#)).

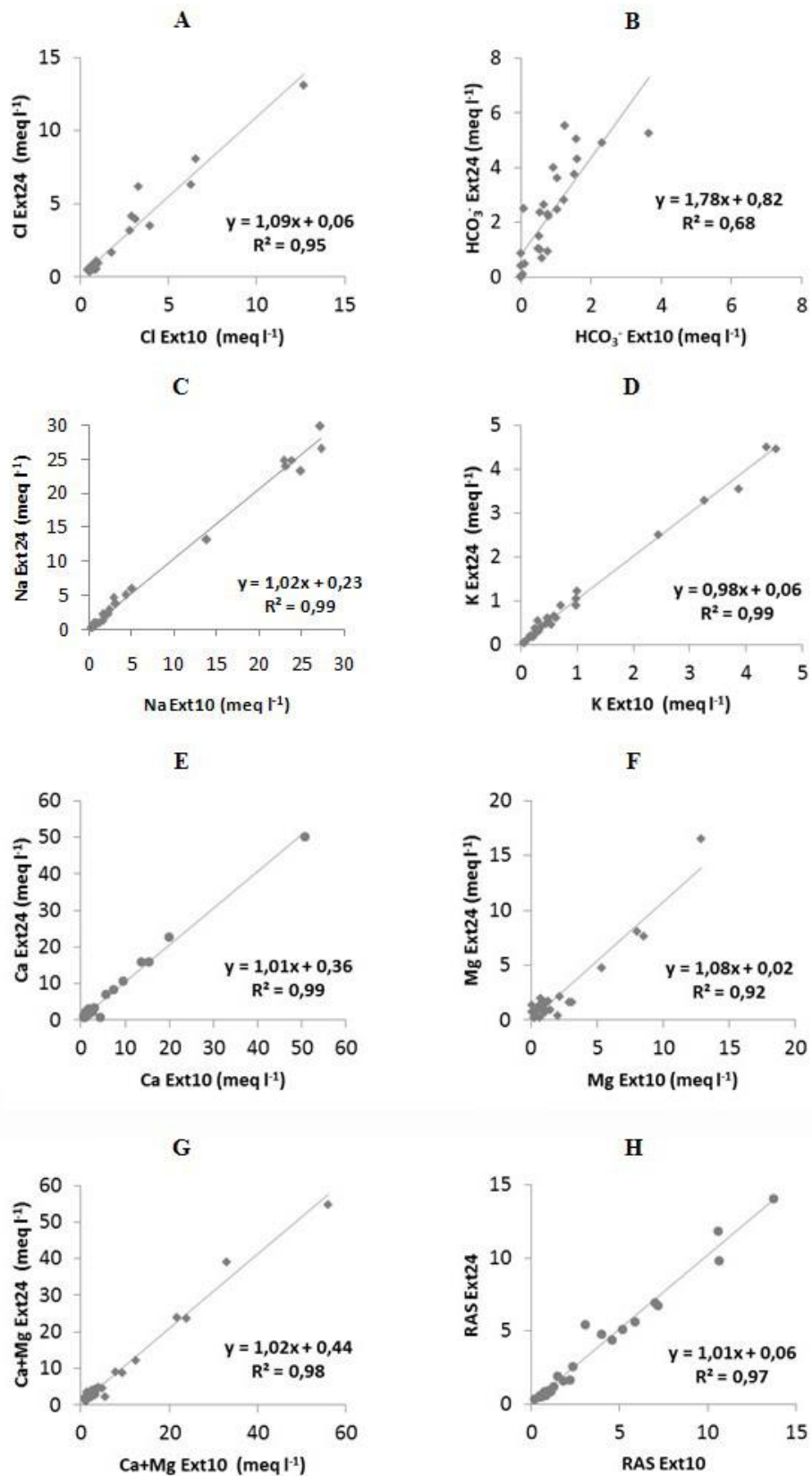


Figura 6: Regresión de las concentraciones iónicas de los diferentes cationes y aniones y relación de adsorción de sodio (RAS) entre los extractos de saturación de 24 h (Ext24) y el extracto de saturación de 10 min (Ext10) expresadas en meq l⁻¹ con excepción de la RAS que es adimensional. A: cloruros (Cl); B: carbonatos (CO₃); C: sodio (Na); D: potasio (K); E: calcio (Ca); F: magnesio (Mg); G: calcio y magnesio (Ca+Mg); H: relación de

adsorción de sodio (RAS). Las líneas observadas corresponden a la regresión lineal, presentando la respectiva función y grado de ajuste (n: 27).

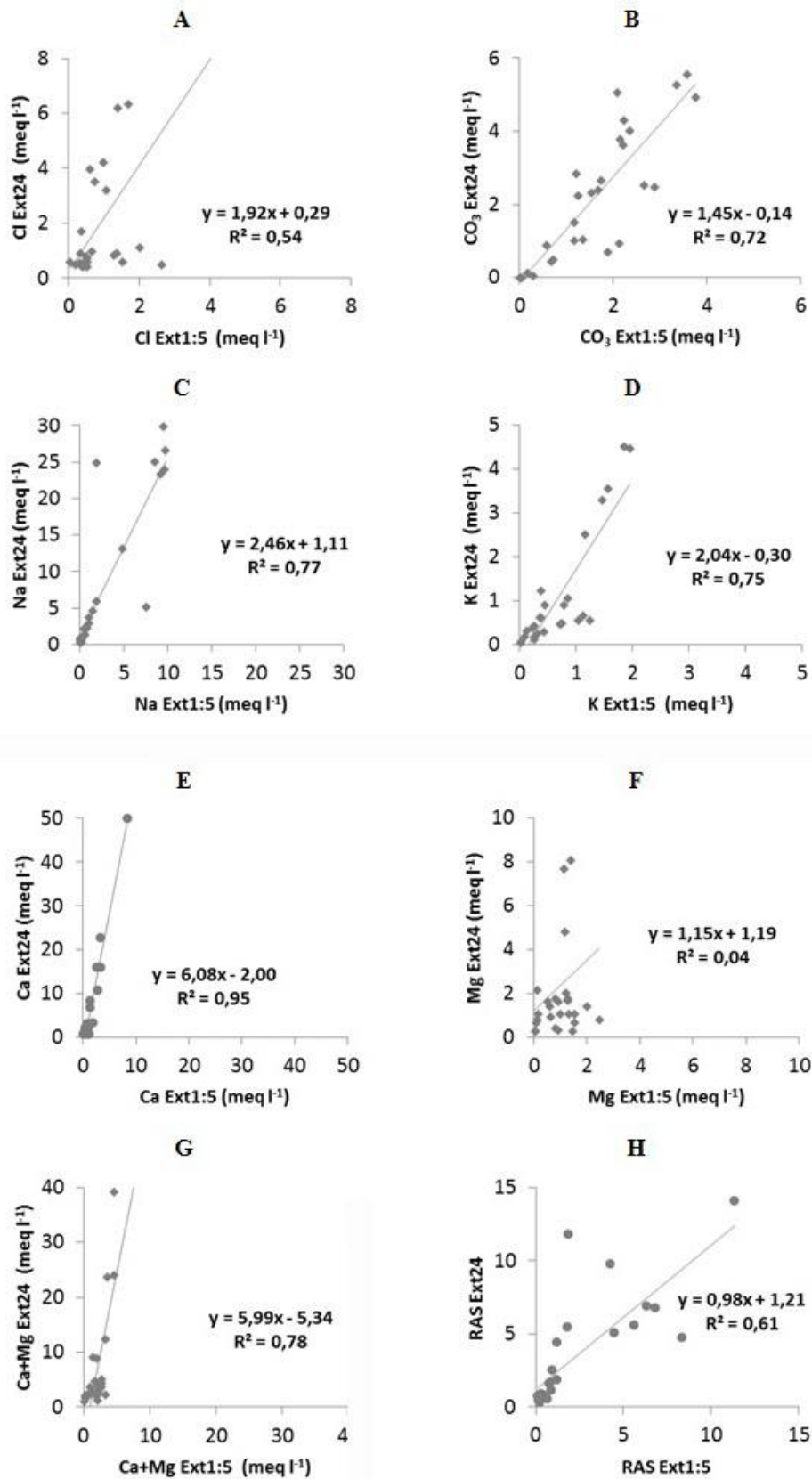


Figura 7: Regresión de las concentraciones iónicas de los diferentes cationes y aniones y relación de adsorción

de sodio (RAS) entre los extractos de saturación de 24 h (Ext24) y el quintuple extracto de saturación (Ext1:5) expresadas en meq l^{-1} con excepción de la RAS que es adimensional. A: cloruros (Cl); B: carbonatos (CO_3); C: sodio (Na); D: potasio (K); E: calcio (Ca); F: magnesio (Mg); G: calcio y magnesio (Ca+Mg); H: relación de adsorción de sodio (RAS). Las líneas observadas corresponden a la regresión lineal, presentando la respectiva función y grado de ajuste ($n: 27$).

Se obtuvieron resultados similares midiendo la concentración iónica y la RAS en los extractos Ext10min y en Ext24h (Figura 6). Lo cual significaría que, como ya fue expresado para el caso de la medida de CE, puede lograrse una importante reducción del tiempo necesario para obtener el extracto de saturación. En los modelos lineales con mayor ajuste puede apreciarse que en todos los casos las pendientes resultaron cercanas a 1, es decir, las concentraciones y la RAS estimadas resultaron cercanas a los valores experimentales. (Figura 8).

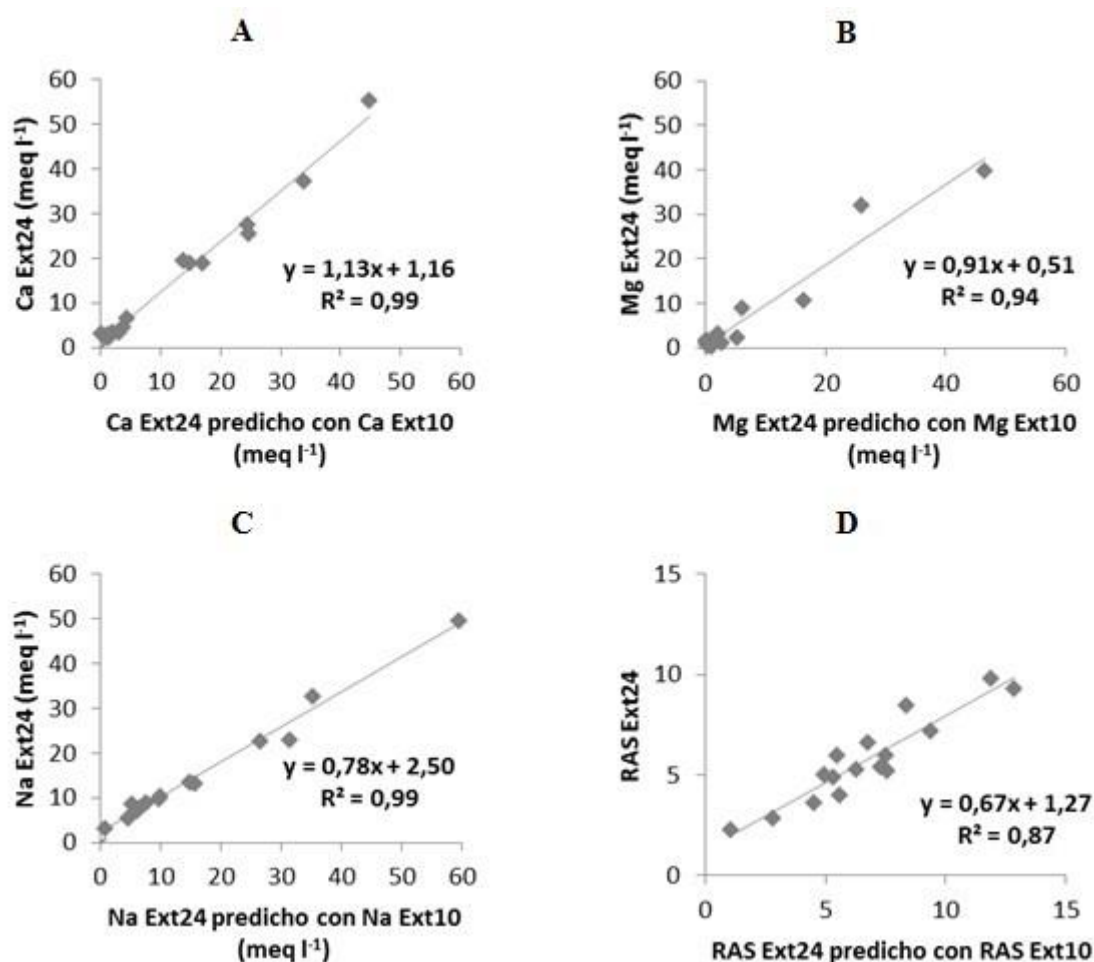


Figura 8: concentraciones de cationes y RAS en el extracto de saturación a las 24 h (Ext24) en relación a los predichos por las concentraciones en el extracto de saturación a los 10 min (Ext10) expresados en meq l^{-1} con excepción de la RAS que es adimensional. A: calcio (Ca); B: magnesio (Mg); C: sodio (Na) y D: relación de adsorción de sodio (RAS). Las líneas observadas corresponden a la regresión lineal, presentando la respectiva función y grado de ajuste ($n: 16$).

Conclusiones

En la determinación de conductividad eléctrica en extracto de pasta saturada puede reemplazarse el tiempo de reposo de 24 horas por 10 minutos con un alto grado de confiabilidad hasta valores de 20 dS m^{-1} .

Los valores de conductividad eléctrica en el extracto de saturación con 24 h de reposo pueden ser estimados con elevado grado de ajuste a partir de las funciones de regresión generadas con la conductividad eléctrica medida en pasta a las 24 h o con la conductividad eléctrica medida en el quintuple extracto de saturación, hasta valores de 20 dS m^{-1} .

La utilización de modelos validados para predecir la conductividad eléctrica en el extracto de pasta de saturación permitirá prescindir de la extracción con vacío.

Las concentraciones de aniones, cationes y relación de adsorción de sodio en el extracto de saturación a las 24 h, con excepción de los bicarbonatos, pueden estimarse con elevado grado de ajuste a partir del extracto de saturación a los 10 min, utilizando los modelos como los desarrollados en el presente trabajo.

La utilización de estimaciones de conductividad eléctrica, concentración iónica y la RAS en el extracto de pasta saturada requiere de una calibración y de la utilización del modelo de regresión pertinente para cada condición edáfica.

Bibliografía

ABOUKILA, E.F. y NORTON J.B. (2017) Estimation of Saturated Soil Paste Salinity from Soil-Water Extracts. *Soil Science* 182 (3): 107–13. DOI: <https://doi.org/10.1097/SS.000000000000197>. 14-3-2018

ABRISQUETA, C.; ROMERO, M. y LAX A. (1962) Relación entre las concentraciones iónicas y la conductividad de los extractos salinos de los suelos de Murcia. *Anales Edaf. y Agrobiol.* XXI: 539-544.

ALLRED, B.J.; DANIELS, J.J. y EHSANI M.R. (2008) *Handbook of Agricultural Geophysics*. CRC Press Taylor y Francis Group.

AMAKOR, X.N.; JACOBSON, A.R.; CARDON, G.E y HAWKS A. (2014) A Comparison of Salinity Measurement Methods Based on Soil Saturated Pastes. *Geoderma* 219–220: 32–39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.010>. 10-2-2018.

CASAS, R. y ALBARRACÍN G. (2015) El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. FECIC. Tomo I (604 p.) y II (452 p.), Buenos Aires, Argentina.

DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. (2016) *InfoStat versión 2016*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>. Último acceso: julio de 2018.

FAO. Food y Agriculture Organization (2002a) *Crops and drops: making the best use of water for agriculture*. FAO Advance Edition. Rome.

FAO. Food y Agriculture Organization (2002b) *Agricultural drainage wáter management in arid and semi-arid áreas*. FAO Advance Edition. Rome.

FAO. Food y Agriculture Organization (2019) *Extent of salt-affected soils*. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-afectados-por-salinidad/more-information-on-salt-affected-soils/es/>. Último acceso: junio de 2019.

HARDIE, M. y DOYLE R. (2012) Measuring soil salinity. IN: Sergey, S y TA Cuin (eds.). *Plant Salt Tolerance: Methods and Protocols* 913:415-25. https://doi:10.1007/978-1-61779-986-0_28.



HE, Y.; DESUTTER, T.; HOPKINS, D.G.; JIA, X. y WYSOCKI D.A. (2013) Predicting EC E of the Saturated Paste Extract from Value of EC 1:5. Canadian Journal of Soil Science 93 (5): 585–94.

<https://doi.org/10.4141/cjss2012-080>.

HE, Y.; DESUTTER, T.M.; HOPKINS, D.G.; WYSOCKI D.A. y CLAY D.E. (2015) Relationship between 1:5 Soil/Water and Saturated Paste Extract Sodium Adsorption Ratios by Three Extraction Methods. Soil Science Society of America Journal 79 (2): 681. <https://doi.org/10.2136/sssaj2014.09.0384>. 12-12-2017.

HOGG, T.J. y HENRY J.L. (1984) Comparison of 1:1 and 1:2 suspensions and extracts with the saturation extract in estimating salinity in Saskatchewan soils. Canadian Journal of Soil Science 64: 699–704.

LIU, G.M.; YANG, J.S. y YAO R.J. (2006) Electrical Conductivity in Soil Extracts: Chemical Factors and Their Intensity. Pedosphere 16 (1): 100–107. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(06\)60031-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(06)60031-3). 14-3-2018.

MAAS, E.V. y HOFFMAN G.J. (1977) Crop salt tolerance-current assesment. J. Irrig. Drain. Div. ASCE 103: 115-134.

NIJENSOHN, L. (1961) A method for the determination of the cation exchange values in saline calcareous gypseous soils. Trans. Vllth. Intern. Cong. SoilSci. II: 36-44.

NIJENSOHN, L. (1988) Determinación del Nivel de Salinidad Edáfica a partir Del Quintuple Extracto de Saturación. Revista de la Ciencia Del Suelo 6(1): 8-13.

PUCHULU, M.E. (2008) Salinización de los suelos. Su incidencia en la provincia de Tucumán y en la República Argentina. Acta geológica lilloana 21 (1): 81-94

RHOADES, J; F CHANDUVI y LESCH S. (1999). Soil Salinity Assessment Methods and Interpretation of Electrical Conductivity Measurements (57). FAO.

SAMLA. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación Argentina (2004). Dirección de Producción Agrícola. Versión Electrónica. ISBN 987-9184-40-8.

SÁNCHEZ, R.M.; DUNELGUERA, L. y SCHERGER M. (2016) Evaluación de las áreas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en Argentina. Ediciones INTA

SIEBERT, S.; HOOGEVEN, J. y FRENKEN K. (2006) Irrigation in Africa, Europe and Latin America. Update of the digital global map of irrigation areas to versión (4): 135.

SLAVICH, P.G. y PETERSON G.H. (1990) Estimating Average Rootzone Salinity from Electromagnetic Induction (Em-38) Measurements. Australian Journal of Soil Research 28 (3): 453–63.

<https://doi.org/10.1071/SR9900453>. 5-3-2018.

SMEDEMA, L.K. y RYCROFT D.W. (1988) Modern land drainage: Planning, design and management of agricultural drainage systems. CRC Press.

SONMEZ, S.; BUYUKTAS, D.; OKTUREN, F. y CITAK S. (2008) Assessment of Different Soil to Water Ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in Soil Salinity Studies. Geoderma 144 (1–2): 361–369.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.12.005>.

TUCKER, B.M. y BEATTY H.J. (1974) Conductivity and Chorides in Methods for analisis of irrigated soil. Tech communication N°54. Commonwealth Bureau of soil pp. 100-101.

USSL. United States Salinity Laboratory Staff (1954) Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook 60. USDA.

VISCONTI, F.; DE PAZ, J.M. y RUBIO J.L. (2010) What Information Does the Electrical Conductivity of Soil Water Extracts of 1 to 5 Ratio (w/v) Provide for Soil Salinity Assessment of Agricultural Irrigated Lands?. *Geoderma* 154 (3-4): 387-397. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.11.012>. 5-3-2018.

ZALBA, P.; GARAY, M.; AMIOTTI, N. y ARES A. (2013) Improved field method for estimating soil salinity. Union and Australia in Land Area Occupied by Salt-Affected 31 (2): 265-69.

ZHANG, H.; SCHRODER, J.L.; PITTMAN, J.J.; WANG, J.J. y PAYTON M.E. (2005) Soil Salinity Using Saturated Paste and 1:1 Soil to Water Extracts. *Soil Science Society of America Journal* 69 (4): 1146. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0267>.

ZHU, J.K (2012) Plant Salt Tolerance. *Trends in Plant Science* 6 (2): 66-71. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01838-0](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01838-0). 10-3-2018.

MERANI, V. H., MILLAN, G. J., FERRO, D. A., LARRIEU, L., BENNARDI, D., POLICH, N., JUAN, L., y BONGIORNO, F. M. (2022). Comparación de metodologías de determinación de la conductividad eléctrica y concentración iónica en suelos de la provincia de Buenos Aires. *Ciencias Agronómicas*, (34), e003. <https://doi.org/10.35305/agro34.e003>

Copyright (c) 2019 Víctor Hugo Merani, Guillermo José Millan, Daniel Adalberto Ferro, Luciano Larrieu, Daniel Bennardi, Nicolás Polich, Luciano Juan, Florencia Marlene Bongiorno



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).