



XXIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Suelos... Huellas del pasado, desafíos del futuro

San Fernando del Valle de Catamarca,
Prov. de Catamarca, Argentina
21 al 24 de mayo de 2024



ESTIMACIÓN DE LAS CONSTANTES HÍDRICAS DE LOS SUELOS DE CÓRDOBA Y MAPA DE AGUA ÚTIL

Faule, L.^{1,2,*}, Lanfranco, M. F.¹, Severina, I.^{1,3}, Giubergia, J. P.^{1,4}, Vicondo, M. E.^{1,3}

¹ INTA EEA Manfredi; ² Universidad Católica de Córdoba; ³ Universidad Nacional de Villa María; ⁴ Universidad Nacional de Córdoba. * Ruta Nac. N° 9 km 636. Manfredi. Provincia de Córdoba, Argentina. faule.lautaro@inta.gob.ar

RESUMEN: Al momento de medir Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP), la técnica de laboratorio más recomendable son las ollas de Richards. También se han propuesto numerosas ecuaciones de pedotransferencia que relacionan el contenido de agua volumétrico del suelo con variables como la composición textural y la materia orgánica. No obstante, pese a los buenos coeficientes de regresión de algunas de ellas, son solo aproximaciones al verdadero valor de esas constantes en el suelo. Las Cartas de Suelos de la República Argentina tienen escasos datos de constantes hídricas, por lo que los modelos de predicción han sido muy utilizados para aproximar valores de forma rápida. Sin embargo, en los análisis de la mayoría de las series de suelos, se pueden encontrar datos de Humedad Equivalente (HE), el cual es un dato convencional y empírico, que tiene una relación bastante estrecha con la CC. Históricamente, se ha buscado correspondencia entre la HE y la CC bajo el supuesto que, en ambos casos, el agua queda retenida con una succión de 0,3 atmósferas. Dado que el 90% del área total de la provincia de Córdoba cuenta información cartográfica a nivel de serie, se planteó un método para estimar las constantes hídricas a partir del uso de la HE. Los resultados fueron comparados con valores estimados mediante cinco fórmulas de pedotransferencia. Con el método propuesto de HE se elaboró un mapa provincial de contenido de Agua Útil (AU) a dos metros de profundidad. Los suelos de familia Arenosa presentaron los valores más bajos, mientras que los de familia Fina los más altos. Los suelos de familia Limosa fina son los más abundantes en la provincia de Córdoba y almacenan un valor promedio de AU a dos metros de 311 mm.

PALABRAS CLAVE: humedad equivalente, constantes hídricas, agua del suelo.

INTRODUCCIÓN

Al momento de medir constantes hídricas del suelo, como Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP), la técnica de laboratorio más recomendable son las ollas de Richards (1947). Los contenidos de agua determinados de esta manera son bastante cercanos a los reales. También se han propuesto numerosas ecuaciones de pedotransferencia que relacionan el contenido de agua volumétrico del suelo con variables como la composición textural y la materia orgánica. No obstante, pese a los buenos coeficientes de regresión de algunas de ellas, son solo aproximaciones al verdadero valor de esas constantes en el suelo (Quiroga *et al.*, 2018). Uno de los modelos más utilizados es el denominado Soil Water Characteristics (Saxton & Rawls, 2006). Dentro de las Cartas de Suelos de la República Argentina existen escasos datos de constantes hídricas, por lo que los modelos de predicción han sido muy utilizados para aproximar valores de forma rápida y masiva. Sin embargo, en los análisis de la mayoría de las series de suelos se pueden encontrar datos de Humedad Equivalente (HE), el cual es un dato convencional y empírico, de fácil determinación y buena reproducibilidad, que tiene una relación bastante estrecha con la CC (Etchevehere, 1976). Se ha buscado correspondencia entre la HE y la CC bajo el



supuesto que, en ambos casos, el agua queda retenida con una succión de 0,3 atmósferas (Conti, 2019). En este sentido, dado que en el 90% del área total de la provincia de Córdoba se cuenta información cartográfica a nivel de serie, se plantearon los siguientes objetivos:

1. Estimar los valores de CC, PMP y AU para las series de suelos de Córdoba a partir del dato de HE.
2. Comparar los valores de constantes hídricas estimados a partir de la HE y de fórmulas de pedotransferencia con valores medidos en laboratorio por medio de la olla de Richards.
3. Realizar un mapa provincial de Agua Útil (AU) a dos metros de profundidad utilizando como base las Unidades Cartográficas de las Cartas de Suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

En primer lugar, se consideró que los valores de HE de las series de suelos son similares a la CC medida a través de la olla de Richards para un mismo horizonte. Tomando en cuenta que los rangos entre PMP y CC son distintos para texturas disímiles (Figura 1), se realizó una recopilación de 1.346 datos de CC y PMP medidos en ollas de Richards, clasificados según las clases texturales del USDA (Soil Science Division Staff, 2017). A partir de éstos, se calculó la relación PMP/CC en porcentaje para cada clase textural, la cual se utilizó como factor de ajuste por textura para estimar el PMP a partir de la HE (Tabla 1). Del mismo modo, se colectaron 807 datos de Densidad Aparente (DAP), cuyos valores medios por clase textural se utilizaron para expresar los resultados en humedad volumétrica (Tabla 1).

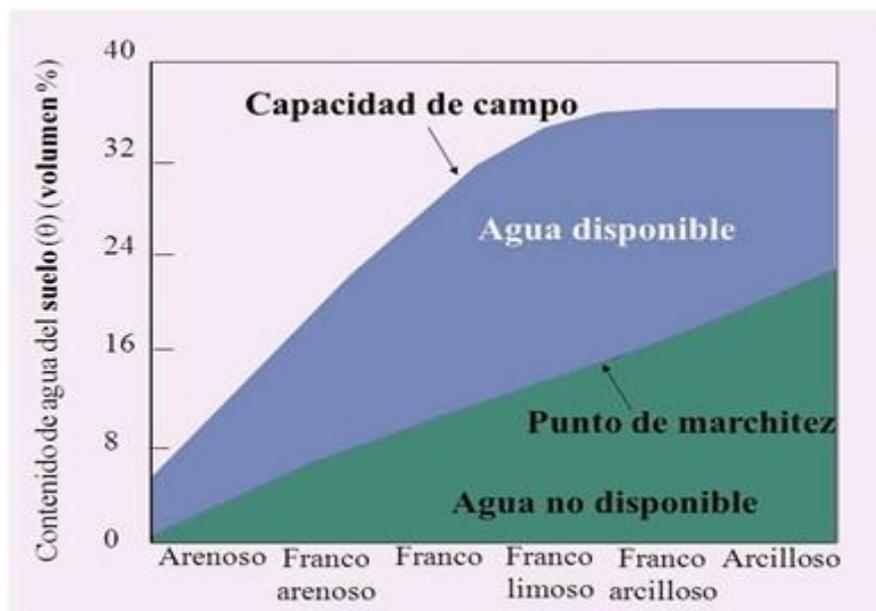


Figura 1. Contenido de agua del suelo en relación a distintas clases texturales del USDA. Adaptado de Weil & Brady, 2017.

Posteriormente, se calcularon ambos parámetros (CC y PMP) por medio de cinco fórmulas de pedotransferencia (Saxton & Rawls, 2006; Saxton, 1986; Ritchie, 1990; Gardner 1986; Travasso y Suero, 1994). En todos los casos, el AU se obtuvo restando los valores de PMP y CC. Para comparar estos modelos con el método propuesto de la HE, se ajustaron modelos de regresión lineal en base a 93 datos de CC, PMP y AU medidos en ollas de Richards del laboratorio de suelos de la EEA INTA Manfredi y se compararon los Coeficientes de Determinación (R^2) y Criterios de Información de Akaike (AIC).

Se estimaron los mm de AU para 301 series de la provincia de Córdoba hasta una profundidad de dos metros o hasta una capa restrictiva para el crecimiento de las raíces (contactos líticos, horizontes petrocálcicos, duripanes, capa freática, etc). En dichas series, se revisó la clasificación taxonómica a nivel de Familia por Clase de Tamaño de Partícula del sistema Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014). Luego se calculó el contenido de AU de las Unidades

Cartográficas, tomando en cuenta los porcentajes de participación de los componentes taxonómicos. Con estos resultados, se elaboró un mapa clasificando las Unidades Cartográficas por sus valores de AU hasta dos metros de profundidad. Finalmente, se establecieron rangos promedios de CC, PMP y AU según las distintas Familias por Clase de Tamaño de Partícula, de modo de representar la variación de la capacidad de almacenamiento agua en relación a los cambios texturales y geomorfológicos de la provincia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se recopilaron en total 1.346 datos de CC y PMP medidos en olla Richards y 807 datos de DAp, clasificados según las clases texturales del USDA. Como puede verse en la Tabla 1, los valores medios de la relación entre PMP y CC tuvieron un comportamiento similar al diagramado por Weil y Brady (2017) en la Figura 1. Los suelos más arenosos tuvieron la menor relación entre el PMP y la CC, mientras que las muestras de texturas más arcillosas tuvieron un mayor porcentaje de PMP en relación a la CC. Las texturas medias (franca, franco limosa y franco arenosa) presentaron prácticamente una relación PMP/CC 1:2, con valores en ascenso para las texturas franco arcillosa, franco arcillo limosa y franco arcillo arenosa. Para el caso de la textura limosa, solo se encontró un dato para CC y PMP, y en cuanto a DAp, no se obtuvieron datos de textura arcillo arenosa.

Tabla 1. Valores medios, máximos y mínimos de PMP/CC (%) y DAp para distintas clases texturales.

Clase Textural	Relación PMP/CC (%) - Coeficiente de ajuste por textura					Densidad Aparente - DAp (g cm ⁻³)				
	n	Media	Máx	Mín	D.E.	n	Media	Máx	Mín	D.E.
Arenoso	21	41,6	58,1	18,2	12,5	10	1,34	1,42	1,23	0,06
Arenoso franco	85	48,9	66,7	15,4	11,5	51	1,34	1,52	1,00	0,13
Franco arenoso	238	49,6	81,3	9,3	10,4	175	1,20	1,67	0,41	0,24
Franco	138	50,6	78,6	18,9	9,3	79	1,23	1,50	0,65	0,20
Franco limoso	214	49,7	77,1	27,0	7,9	211	1,22	1,55	0,57	0,13
Limoso	1	51,3				2	1,35	1,41	1,28	0,09
Franco arcilloso limoso	179	53,0	77,3	26,6	9,0	134	1,28	1,43	0,85	0,10
Franco arcillo arenoso	116	56,0	72,2	24,9	9,2	7	1,21	1,40	0,77	0,25
Franco arcilloso	132	56,0	72,2	36,3	7,7	29	1,10	1,47	0,65	0,23
Arcillo arenoso	48	58,2	80,4	42,3	9,0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Arcillo limoso	66	58,1	70,6	44,7	6,1	67	1,34	1,51	1,08	0,10
Arcilloso	108	58,0	87,1	35,8	8,5	42	1,04	1,41	0,63	0,18

Con respecto a los modelos de regresión lineal planteados, el método propuesto utilizando la Humedad Equivalente (HE) obtuvo una mejor correlación para los tres parámetros analizados (Tabla 2). En el caso de HE y CC, el R² fue de 0,91, lo que confirmaría la estrecha relación entre ambos parámetros mencionada en las Normas de Reconocimiento de Suelos (Etcheverhere, 1976) para los casos analizados.

Tabla 2. Coeficientes de Determinación (R²) y Criterios de Información de Akaike (AIC) calculados para las variables CC, PMP y AU.

Método	n	CC		PMP		AU	
		R ²	AIC	R ²	AIC	R ²	AIC
HE	93	0,91	401,15	0,88	308,88	0,81	350,99
Saxton & Rawls 2006	93	0,87	437,51	0,76	373,42	0,71	391,52
Saxton 1986	93	0,82	464,33	0,71	389,06	0,70	394,26
Ritchie 1990	93	0,80	477,36	0,73	381,59	0,54	435,63
Gardner 1983	93	0,84	457,69	0,80	356,86	0,74	380,94

Por otra parte, los gráficos de la Figura 2 muestran las relaciones entre los valores medidos de CC, PMP y AU en olla de Richards y los estimados por el método de HE. Se observa que en texturas más arcillosas los valores de las constantes son más altos, y que existe una mayor dispersión de los datos con respecto a la línea de tendencia. Esto sugeriría que el modelo propuesto tiene mayor precisión sobre suelos arenosos que sobre suelos arcillosos.

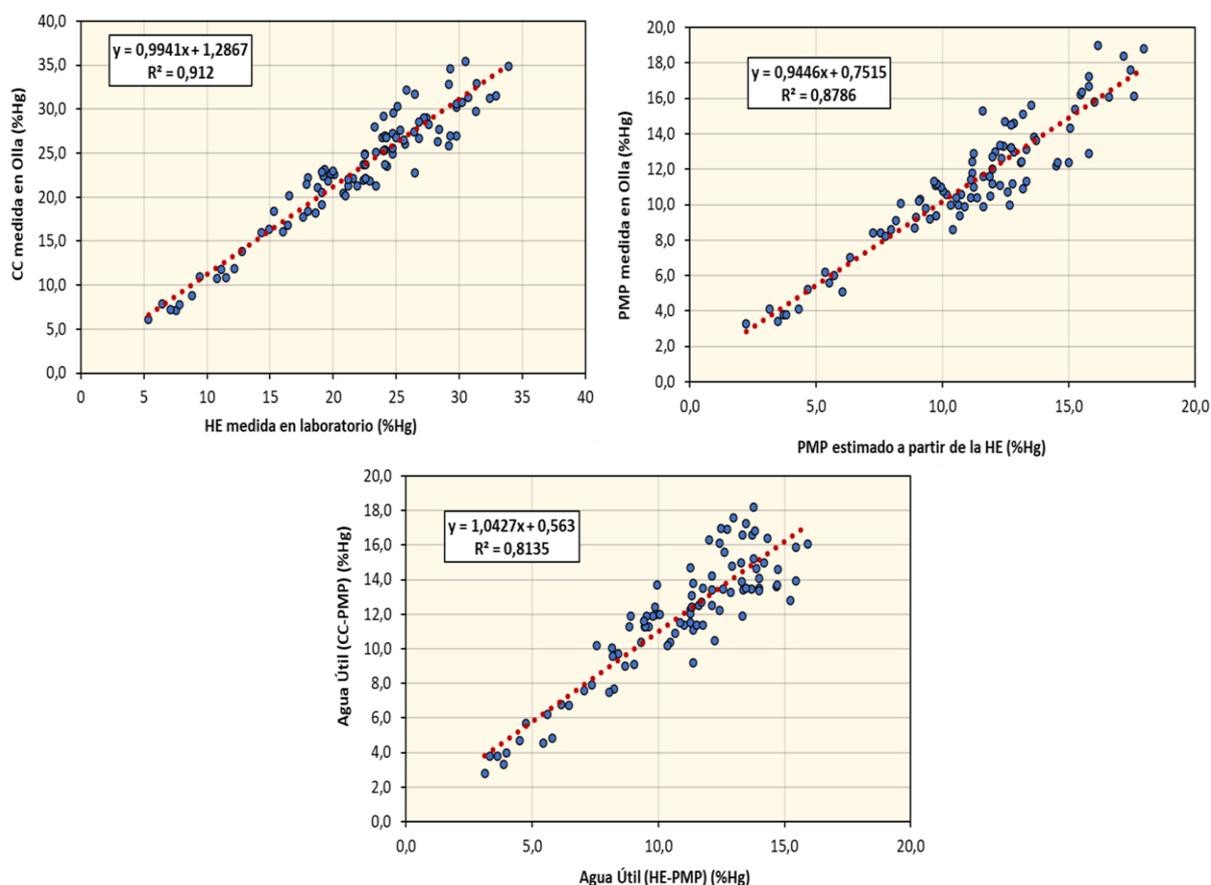


Figura 2. Modelos de regresión lineal entre valores de Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente y Agua Útil (%Hg) medidos en olla de Richards y los estimados a partir del método de Humedad Equivalente.

Agrupando 297 series, sin límites de profundidad efectiva, según las Familias por Clase de Tamaño de Partícula, se elaboró la Tabla 3, que muestra los valores medios de CC, PMP y AU en mm hasta dos metros para las Familias reconocidas. Los suelos de familia Arenosa presentaron los valores más bajos, mientras que los de familia Fina los más altos. Los suelos de familia Limosa fina se presentan como los más abundantes en Córdoba, con un valor promedio de AU a dos metros de 311 mm, seguidos por la familia Franca gruesa con 173 mm.

Tabla 3. Valores medios de CC, PMP y AU (mm) a dos metros de profundidad para los suelos de Córdoba agrupados según su Familia por Clase de Tamaño de Partícula.

Familia por Clase de Tamaño de Partícula	n	CC (mm)		PMP (mm)		AU (mm)	
		Media	D.E.	Media	D.E.	Media	D.E.
Arenosa	16	198	34	101	20	97	18
Franca gruesa	95	345	69	172	35	173	35
Franca fina	38	498	68	256	37	242	33
Limosa gruesa	33	508	71	253	36	256	36
Limosa fina	101	629	67	318	39	311	30

Fina	14	790	73	422	50	368	27
------	----	-----	----	-----	----	-----	----

En la Figura 3, se muestra el mapa provincial de AU hasta dos metros de profundidad, obtenido a partir de las unidades cartográficas de los mapas de suelos preexistentes. Puede observarse que los valores más bajos coinciden con los ambientes serranos (color rojo), seguidos por los obtenidos en el sudoeste provincial, caracterizado por suelos de textura franco arenosa y arenoso franca. En el sector Central y Este, cuyos materiales parentales dominantes son loésicos, se encontraron valores de hasta 341 mm de AU. Los suelos de mayor almacenaje se determinaron en el noreste (departamento San Justo), donde predominan los Argiudoles Típicos, de familia Fina.

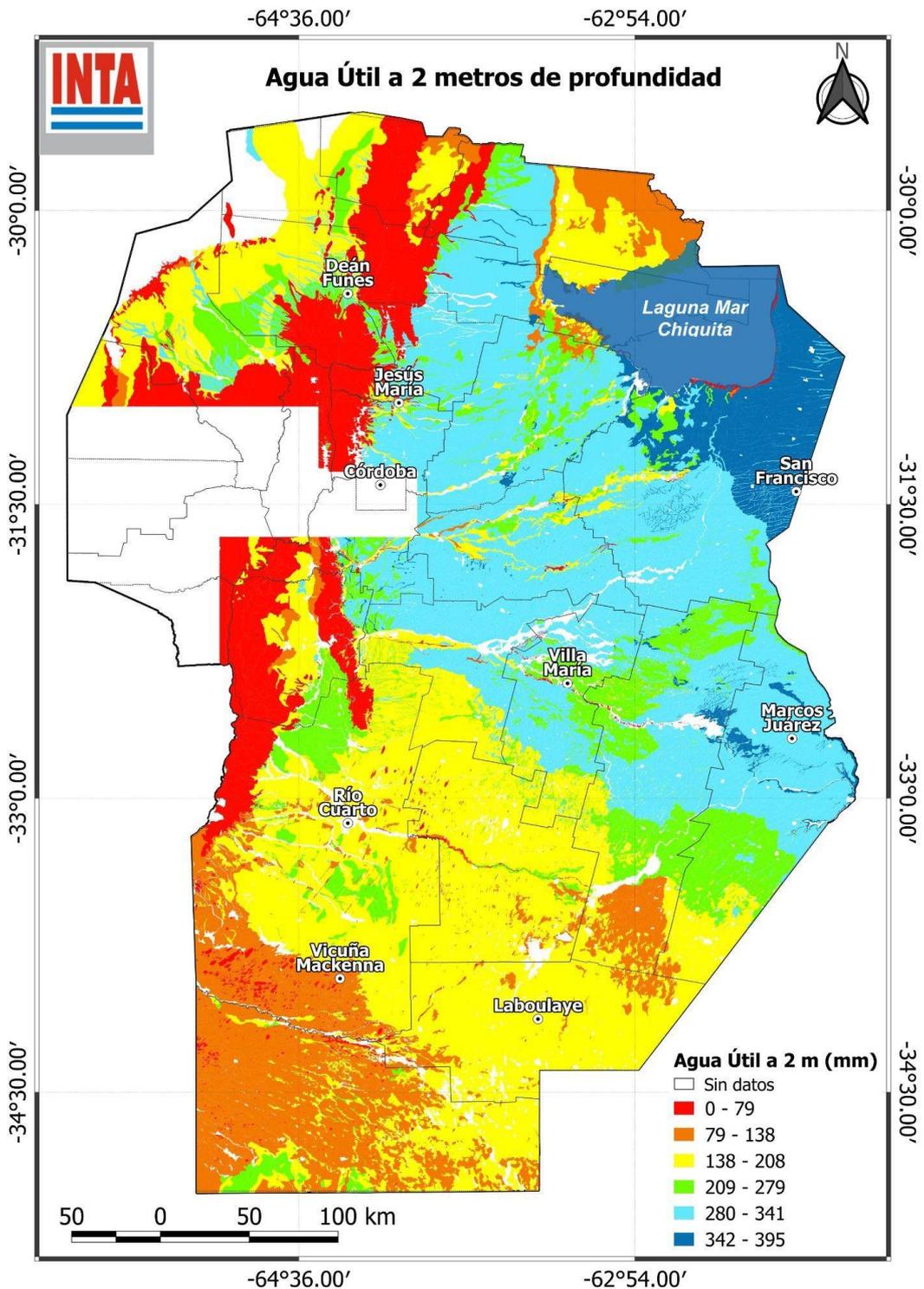


Figura 3. Mapa de AU (mm) del suelo hasta dos metros de profundidad de Córdoba.

CONCLUSIONES

Conocer las constantes hídricas del suelo resulta de suma importancia para el manejo agronómico y la aplicación eficiente de láminas de riego. Con este trabajo se logró una primera aproximación para estimar estas variables en las series de suelos, aprovechando la vasta información analítica que cuentan sus descripciones. Por otra parte, el análisis realizado con respecto a la clasificación de suelos a nivel de familia, resalta la importancia de la taxonomía como herramienta para predecir el comportamiento de suelos con respecto al agua y las prácticas asociadas a su conservación. Finalmente, el modelo propuesto podría mejorarse con la incorporación de nuevos datos y probarse para series de otras provincias que cuenten con valores de HE y que presenten un comportamiento similar a los suelos de Córdoba.

BIBLIOGRAFÍA

- Brady, N. & Weil, R. (2017). *The Nature and Properties of Soils*, 15th edition. Pearson, Upper Saddle River NJ.
- Conti, Marta E. (2019). *Edafología: bases y aplicaciones ambientales argentinas* – 2^a ed. 2^a reimp. – Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Editorial Facultad de Agronomía.
- Etchevehere, P. (1976). *Normas de Reconocimiento de Suelos*. INTA. Instituto de Suelos y Agrotecnia. Segunda Edición actualizada. Publicación N°152.
- Gardner, W. (1986). Water content. In: Chapter 21, *Methods of soil analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Quiroga, A. R., Fernández, R. y Álvarez, C. (2018). *Análisis y Evaluación de Propiedades Físico Hídricas de los Suelos*. - 1^a ed. – Anguil, La Pampa. Ediciones INTA.
- Richards, L. (1947). Pressure membrane apparatus: construction and use. *Agr. Eng.* 28, 451-454.
- Saxton, K., & W. Rawls. (2006). *Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 1569-1578.
- Soil Science Division Staff. (2017). *Soil Survey Manual*. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (Eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Travasso, M. & E. Suero. (1994). *Estimación de la capacidad de almacenaje de agua en suelos del sudeste bonaerense*. Boletín Técnico N° 125. EEA Balcarce. 9 p.
- United States Department of Agriculture (USDA). Soil Survey Staff. (2014). *Keys to Soil Taxonomy*. 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.