



PROFUNDIDAD EFECTIVA DEL SUELO Y RENDIMIENTOS DE TRIGO EN EL SUDOESTE BONAERENSE

Krüger, Hugo R.; Frolla, Franco D y Zilio, Josefina P.

INTA. EEA Bordenave. CC 44 (8187) Bordenave. Argentina. kruger.hugo@inta.gob.ar

RESUMEN

Se estudió la influencia de la profundidad efectiva del suelo (PE) sobre el contenido de agua útil al momento de la siembra (AUS), en el mes de noviembre (AUN) y sobre el rendimiento del cultivo (REND) en un monocultivo de trigo en siembra directa de la región semiárida bonaerense. Los objetivos fueron establecer la relación entre PE y REND y determinar la PE crítica para la producción de trigo. En 15 puntos de un lote comercial, seleccionados anualmente, se midieron durante siete campañas AUS, AUN y REND. Se calculó el rendimiento relativo (RR) y se utilizaron procedimientos de regresión simple y árbol de clasificación-regresión. Los rendimientos mínimo y máximo absolutos fueron de 870 y 5900 kg ha⁻¹. Se observaron relaciones significativas entre PE y REND en seis de las siete campañas. Se estableció una PE crítica de 0,52 m, para un RR de 0,68, que corresponde a un rango de producción entre 1500 y 4000 kg grano ha⁻¹. En todas las campañas se observó relación entre PE y AUS ($R^2 > 0,31$, $p < 0,06$), y en seis de ellas con AUN ($R^2 > 0,34$, $p < 0,02$). A su vez, el contenido de agua del suelo influyó sobre el rendimiento del cultivo: AUS en cinco campañas ($R^2 > 0,41$, $p < 0,01$), y AUN en seis ($R^2 > 0,23$, $p < 0,07$). Aunque se observó relación entre estas variables y la precipitación, no se pudieron establecer correlaciones significativas. El árbol de clasificación-regresión seleccionó PE como primera variable determinante del RR del trigo seguida de la precipitación durante el ciclo y en el mes de noviembre para los suelos menos profundos, y la precipitación durante el ciclo y el barbecho para los más profundos. Los resultados indican que es posible el manejo por ambientes basados en la PE.

Palabras clave: Manejo por ambientes, zona semiárida, cereales de invierno

INTRODUCCIÓN

La presencia de un horizonte petrocálcico en los suelos regionales condiciona la profundidad efectiva (PE) y la capacidad de retención de agua útil del suelo (CRAU) (Puricelli et al., 1997). En un trabajo anterior (Krüger et al., 2014), se observó que la PE influyó sobre algunas variables de producción de trigo como: el nivel de residuos logrado a través de varias campañas, el contenido de agua útil del suelo a la siembra (AUS) y durante el ciclo del cultivo, y la eficiencia de uso del agua. La interacción de estas variables determinó mayores rendimientos en suelos de alta PE. Se postula que, sin independizar la producción del cultivo respecto de la cantidad y distribución de las precipitaciones durante el barbecho y el ciclo, la utilización de suelos relativamente profundos mejora la probabilidad de lograr rendimientos aceptables, incide sobre la respuesta a la fertilización nitrogenada (Frolla et al., 2016), y genera un criterio de manejo por ambientes relativamente simple y permanente. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la PE del suelo sobre los rendimientos de trigo en siembra directa, y establecer la profundidad crítica para esta actividad en la planicie sobre tosca del sudoeste bonaerense.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se realizó en un establecimiento del sur del partido de Puan (Bs. As.), sobre una asociación de *Argiustol típico, somero* y *Haplustol lítico* de textura franco a franco-arcillosa (SAGyP -INTA, 1989). Durante el período 2011-2017 se determinaron: el contenido de agua útil a la siembra del cultivo (AUS), en el mes de noviembre (AUN), y los rendimientos del trigo (REND), en 15 puntos seleccionados anualmente con PE entre 0,2 y 1 m. AUS y AUN se midieron en forma gravimétrica, en capas de 0,2 m hasta el horizonte petrocálcico y REND por cosecha manual (0,84 m² punto⁻¹) y trilla mecánica. El rendimiento relativo (RR) se calculó, para cada campaña, como el cociente entre el rendimiento de cada punto y el rendimiento máximo. Se aplicaron procedimientos de regresión simple (Cate & Nelson, 1971), y árbol de clasificación-regresión (Johannes & Hoddinott, 1999) para analizar la relación entre variables utilizando software Infostat® (Di Rienzo et al., 2012) y R (R Core Team, 2017).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra los registros de precipitación mensual de cada año y los valores medios correspondientes a los registros históricos disponibles (2003-2017).

La cantidad y distribución de lluvias resultó diferente en cada campaña y varió, además, respecto de los valores medios históricos. En 2011 la precipitación durante el barbecho superó a la media mientras que fue reducida durante el ciclo y concentrada sobre su final. En 2012 fue cercana a la media en el barbecho y ciclo, en ambos casos concentrada sobre las etapas iniciales. En 2013 fue escasa durante el barbecho, con registros importantes sobre el final, y escasa en el ciclo con mejor distribución relativa. En 2014 la precipitación fue normal durante el barbecho y excesiva durante el ciclo. En 2015 resultó excesiva durante el barbecho y relativamente baja durante el ciclo, con picos en agosto y octubre. En 2016 fue abundante durante el barbecho y algo menor a la media en el ciclo, concentrada sobre octubre. En 2017 fue excesiva durante el barbecho y normal en el ciclo, con déficit en octubre. Si bien no existieron dos campañas similares, en general se observó una tendencia a mayor precipitación durante el barbecho que en el ciclo.

Tabla 1: Precipitación mensual y total anual en San Germán (Bs.As.) para el período estudiado.

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
----- mm -----													
2011	293	45	100	47	61	0	16	4	0	53	112	26	757
2012	74	64	61	0	36	0	0	180	98	20	0	37	570
2013	28	71	6	106	2	0	70	0	66	39	22	2	412
2014	18	59	11	160	86	18	104	140	67	150	99	18	930
2015	127	128	118	158	40	0	35	55	15	103	34	108	921
2016	140	166	20	94	70	67	42	4	33	132	10	21	799
2017	59	131	86	330	79	73	20	48	79	25	49	24	1003
2003-2017	92	97	75	87	34	17	36	40	60	87	61	71	757

La Figura 1 presenta los rendimientos del trigo en función de la PE para cada campaña. Los rendimientos medios por campaña oscilaron entre 1800 y 3600 kg ha⁻¹, con un máximo absoluto en 2016 (5898 kg ha⁻¹) en un suelo profundo, y un mínimo en 2012 (871 kg ha⁻¹) en un suelo somero.

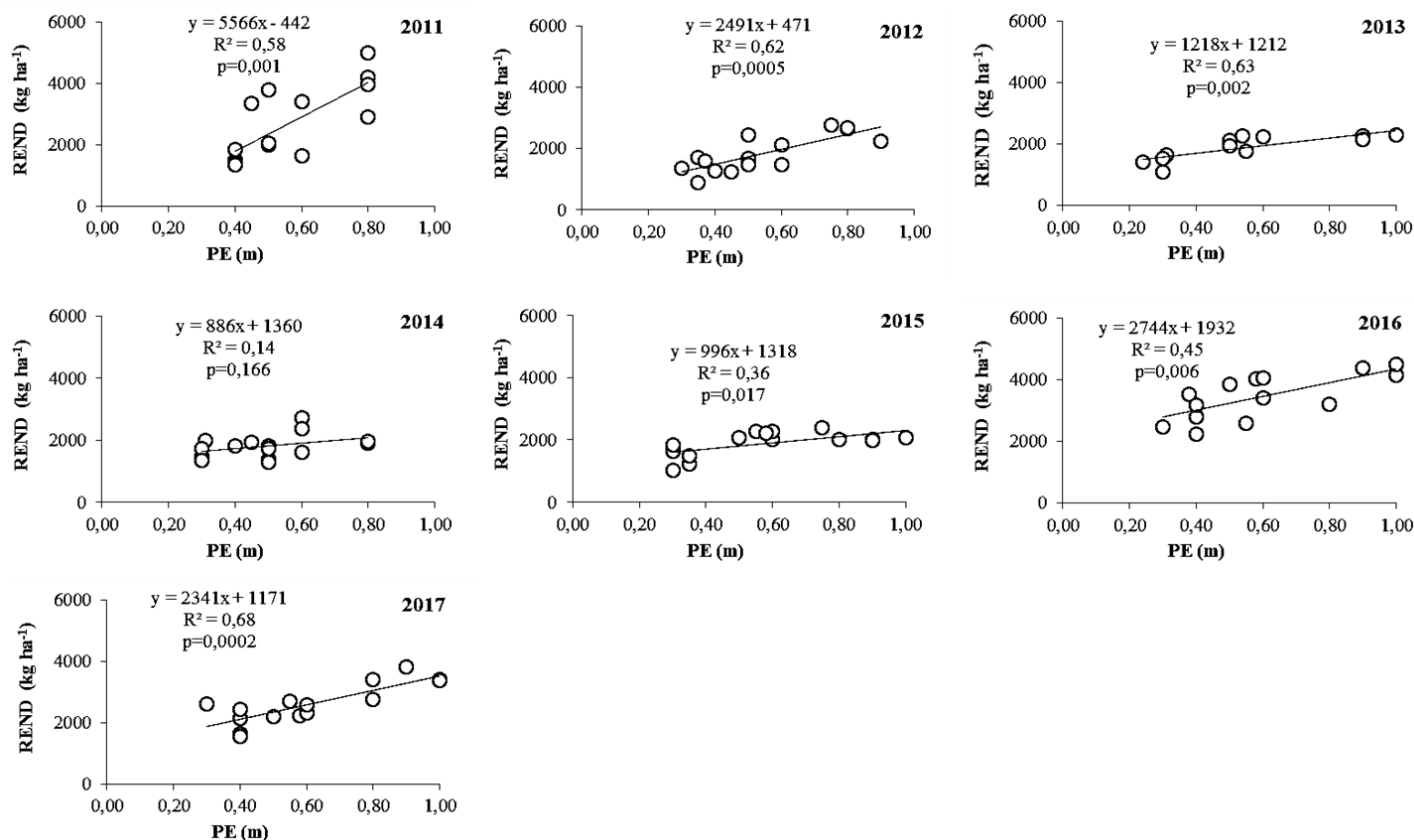


Figura 1: Relación entre la profundidad efectiva del suelo (PE) y el rendimiento del trigo (REND).

Se observaron relaciones significativas entre PE y REND en seis de las siete campañas. En 2014, con exceso de precipitaciones durante el ciclo, lavado de nitrógeno en el suelo y alta incidencia de enfermedades fúngicas, la relación fue baja y no significativa por caída de rendimientos en los suelos más profundos. La correlación PE vs. REND fue diferente en cada campaña explicando, la variación de la PE entre el 36 y el 63% de la variación del REND. Bravo et al. (2004), durante una campaña en la misma región observaron una variación del 54% en el rendimiento debido a la variación de la PE, ubicándose los menores rendimientos en suelos de profundidad menor a 0,4 m.

Considerando la presencia regional del horizonte petrocálcico, esta relación genera condiciones apropiadas para el manejo de suelos por ambientes basados sobre la PE. Resulta de interés, en este caso, la determinación de valores críticos de PE para la producción de trigo u otros cereales de invierno.

La Figura 2 muestra, para el conjunto de las campañas, un diagrama de Cate y Nelson, representando la variación del rendimiento relativo (RR) del trigo en función de la PE. De los cuatro cuadrantes de la figura, las observaciones comprendidas en los numerados II y IV conforman el modelo que determinó un valor crítico de 0,52 m de PE para obtener rendimientos relativos mayores a 0,68. Esta PE establece un límite para la producción de trigo en la zona estudiada y sirve de referencia para considerar suelos someros y profundos respectivamente. De acuerdo con los rendimientos máximos observados en cada campaña (Figura 1), un valor de RR de 0,68 corresponde a un rango de producción entre 1500 y 4000 kg grano ha⁻¹.

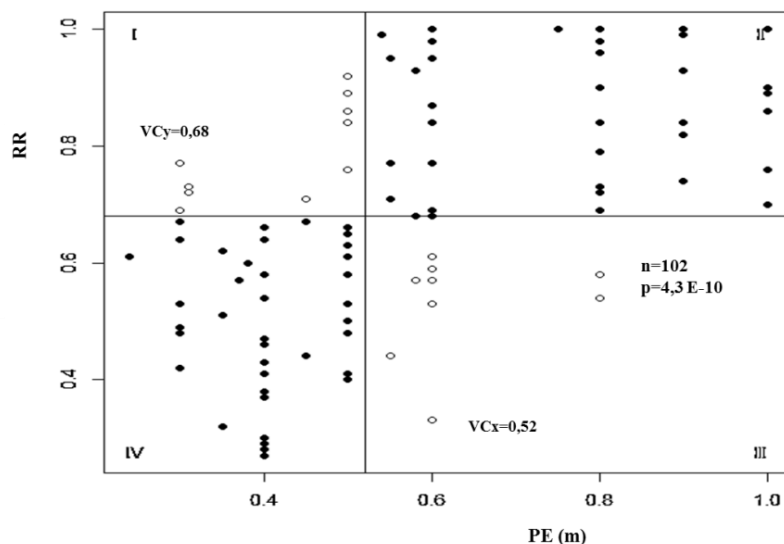


Figura 2: Rendimiento relativo del trigo (RR) en función de la profundidad efectiva (PE). Valores críticos de profundidad efectiva (VCx) y rendimiento relativo del trigo (VCy) para el conjunto de las campañas estudiadas

Para los suelos estudiados, con similar composición granulométrica y contenido de materia orgánica, la PE puede considerarse representativa de la CRAU, influyendo sobre el rendimiento a través del contenido de agua del suelo. La Tabla 2 muestra los resultados de los análisis de regresión lineal simple entre las variables PE, AUS, AUN y REND.

En todas las campañas se observó relación entre PE y AUS ($R^2 > 0,31$, $p < 0,06$), y en seis de ellas con AUN ($R^2 > 0,34$, $p < 0,02$). A su vez, el contenido de agua del suelo influyó sobre el rendimiento del cultivo: AUS en cinco campañas ($R^2 > 0,41$, $p < 0,01$), y AUN en seis ($R^2 > 0,23$, $p < 0,07$).

La relación entre el agua almacenada en el suelo a la siembra y los rendimientos del trigo y otros cultivos ha sido descripta en la Región Semiárida Pampeana (Fontana et al., 2006; Quiroga & Bono, 2007). Sin embargo en suelos con capacidades de retención de agua útil menores a 150 mm, como las observadas en la zona, la dotación hídrica inicial a menudo no explica aceptablemente la variación de rendimientos, y debe combinarse con el contenido de agua durante el período crítico para la definición del rendimiento (Quiroga et al., 2005; Venanzi et al., 2007).

El contenido de agua útil del suelo depende de la precipitación recibida previamente, asumiendo que no existe un escurrimiento significativo. Distintos autores explicaron la variación de rendimientos de trigo en función de la variación de la precipitación. Loewy (1987) la relacionó con la precipitación anual ($R^2=0,83$); Miranda y Junquera (1994) con la precipitación acumulada entre septiembre y noviembre ($R^2=0,36$); Zilio et al. (2014) lo hicieron con la precipitación acumulada entre agosto y noviembre ($R^2=0,30$) y, en menor medida ($R^2=0,10$), con la precipitación durante el período crítico del trigo (octubre-noviembre).

Tabla 2 – Coeficientes de determinación (R^2) y valores de probabilidad (p) para la relación lineal entre distintas variables: profundidad efectiva (PE), contenido de agua útil (a la siembra, AUS y en el mes de noviembre, AUN), y rendimiento del trigo (REND). En cada serie de análisis se identifica la variable independiente y dependiente en ese orden

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
----- PE vs. AUS -----							
R^2	0,66	0,35	0,31	0,57	0,76	0,68	0,42
p	0,0002	0,02	0,062	0,001	0,0001	0,0002	0,0086
----- PE vs. AUN -----							
R^2	0,02	0,55	0,49	0,82	0,78	0,34	0,34
p	0,598	0,001	0,011	0,0001	0,0001	0,023	0,023
----- AUS vs. REND -----							
R^2	0,57	0,18	0,63	0,08	0,49	0,41	0,62
p	0,011	0,115	0,002	0,301	0,004	0,01	0,0005
----- AUN vs. REND -----							
R^2	0,23	0,33	0,49	0,09	0,39	0,60	0,60
p	0,07	0,025	0,011	0,291	0,013	0,0007	0,0007

La amplia variabilidad en cantidad y distribución de las precipitaciones entre campañas, junto con otros factores climáticos y bióticos, hacen que estas relaciones no siempre se cumplan o el ajuste de los modelos no sea aceptable. En este estudio, la variación de la precipitación durante distintos períodos: barbecho, ciclo del cultivo (junio-noviembre), etapa vegetativa (agosto y septiembre), período crítico (octubre y noviembre) y anual, no explicó significativamente la variación de los rendimientos medios del cultivo (datos no presentados). Tampoco se observó relación entre dichas variables y el grado de respuesta de REND a la PE, representado por la pendiente de las rectas de regresión de la Figura 1.

Si se analizan las campañas en forma individual es posible observar, sin embargo, relación entre las precipitaciones, el contenido de agua del suelo y los rendimientos. Precipitaciones relativamente abundantes durante el barbecho permiten completar la capacidad de almacenamiento de los suelos profundos y determinan relaciones significativas entre PE, AUS y REND. Escasas precipitaciones, o concentradas sobre el inicio del barbecho disminuyen su eficiencia hídrica, especialmente en los suelos profundos, y atenúan estas correlaciones. De la misma forma, precipitaciones cercanas a las normales durante el ciclo del cultivo mejoran la relación PE vs AUN, pero pueden influir negativamente sobre la relación AUS vs. REND. El escaso número relativo de campañas analizadas, hace que las combinaciones entre estas variables dificulten el establecimiento de relaciones lineales simples.

La existencia de colinealidad impide, por otra parte, la utilización de modelos de regresión múltiple para explicar la relación y la importancia relativa de las variables involucradas en la dinámica hídrica del cultivo y los rendimientos. El árbol de clasificación-regresión (Figura 3) permite jerarquizar variables y establecer valores críticos tentativos a pesar de esta restricción (Johannes y Hoddinott, 1999). En este caso, considerando PE, AUS, AUN, precipitación durante el barbecho (PPb), durante el ciclo (PPc) y durante el mes de noviembre (PPn) como variables determinantes y RR como variable dependiente, el modelo seleccionó PE como primera variable determinante del RR. Con un valor límite de 0,52 m, la PE separó dos grupos con RR medios de 0,56 y 0,80 respectivamente.

En un segundo nivel de discriminación, PE continuó siendo la variable más importante para suelos profundos mientras que para suelos con <0,52 m de PE el modelo seleccionó la PPc. En el tercer nivel la PPb fue la variable discriminante en suelos profundos (>0,68 m) y la PPc en el rango 0,52-0,68 m de PE. En los suelos menos profundos que recibieron PPc>191 mm la PE volvió a separar grupos de suelos.

Los resultados del árbol de clasificación-regresión coinciden con el diagrama de Cate y Nelson señalando un valor crítico de 0,52 m de PE. En los distintos niveles de jerarquización observados los RR medios superan el valor 0,67

aunque no debe subestimarse la variabilidad de los datos que determina valores mayores y menores al RR de cada grupo. Independientemente de la validez de los valores críticos y de RR medios, que deben ser chequeados en mayor número de años, la jerarquización de variables resulta lógica a la luz de la experiencia recabada a lo largo del estudio. En los suelos menos profundos la PPc es fundamental para lograr rendimientos aceptables. Una adecuada distribución, con cierto volumen en noviembre, combina la relativamente baja capacidad de retención de agua con su recarga frecuente y satisface los requerimientos del cultivo. Por este motivo en ciclos lluviosos suele disminuir la relación PE vs. REND. En suelos con PE y capacidad de retención de agua intermedia, la PPc sigue siendo importante para lograr rendimientos mayores que los de suelos someros. En los suelos más profundos cobra importancia la PPb que permite lograr almacenamientos de agua cercanos a su CRAU. Si esto se combina con baja PPc, se puede alcanzar una alta relación PE vs. REND, aunque esto no es muy frecuente ya no siempre los barbechos permiten acumular más del 60% de su CRAU (Murphy et al, 2010; Krüger et al., 2014).

La múltiple combinación de estas situaciones determina la mayor o menor influencia de PE sobre REND (i.e. la pendiente de la recta de regresión). Si bien la relación resulta significativa en la mayor parte de los años, en algunas campañas las diferencias de REND entre suelos someros y profundos se estrechan, determinando un cierto nivel de riesgo económico si se pretende hacer un alto uso de insumos en los últimos.

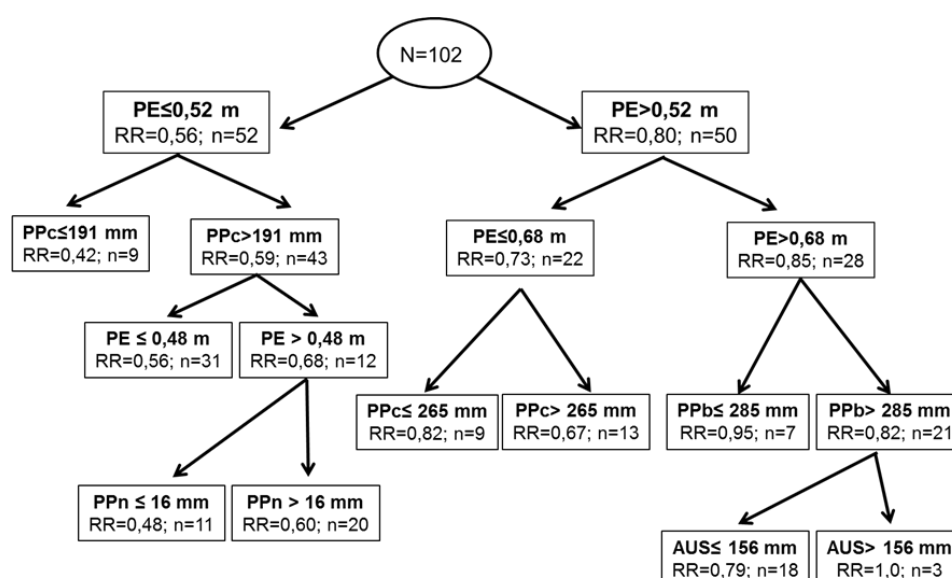


Figura 3: Árbol de clasificación-regresión para el rendimiento relativo del trigo (RR) considerando siete campañas, en función de las variables: profundidad efectiva (PE), contenido de agua útil del suelo a la siembra (AUS), contenido de agua útil del suelo en el mes de noviembre (AUN), precipitación durante el barbecho (PPb), el ciclo del cultivo (PPc) y durante el mes de noviembre (PPn). N indica el número total de casos, y n los incluidos en cada grupo.

CONCLUSIONES

La profundidad efectiva del suelo se relacionó significativamente con los rendimientos del trigo explicando, su variación, entre el 36 y el 63% de la variación del rendimiento. La correlación se justifica por su influencia sobre el contenido de agua útil del suelo, tanto a la siembra del cultivo como en el mes de noviembre. Por la baja capacidad de retención de agua de estos suelos, la dotación hídrica durante el período crítico del cultivo se combinó con la inicial para determinar el rendimiento. Aunque se observó relación entre la precipitación y el contenido de agua útil del suelo, con los datos disponibles esta no resultó significativa.

Mediante distintos métodos estadísticos se obtuvo una profundidad de referencia de 0,5 m, por encima de la cual se espera una producción aceptable de trigo. Sobre la base de los rendimientos observados durante el estudio, el rendimiento relativo determinado (0,68) implica un rango entre 1500 y 4000 kg grano ha⁻¹.

La técnica del árbol de clasificación-regresión produjo un ordenamiento lógico de las variables involucradas en la definición del rendimiento relativo del trigo. Como primer variable de discriminación se estableció la profundidad

efectiva, seguida de la precipitación durante el ciclo y en el mes de noviembre para los suelos menos profundos, y la precipitación durante el ciclo y el barbecho para los más profundos.

Los resultados indican que es posible y recomendable el manejo por ambientes basados en la profundidad efectiva de los suelos estudiados, siempre que no existan variaciones importantes en la composición granulométrica de los mismos. Las diferencias de rendimiento observadas en la mayoría de las campañas permiten el planteo de estrategias diferenciales de uso de insumos, principalmente fertilización y protección del cultivo, que contribuirán a la sustentabilidad del sistema de producción.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la permanente colaboración de la Sra. Ana María Dell Elce y la Ing. Magalí Gutiérrez, a cargo del establecimiento estudiado. El presente trabajo fue realizado con el aporte de los proyectos PNAGUA-1133033 y BASUR-1272205 del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

BIBLIOGRAFÍA

- Bravo, O; N Amiotti; JP Rollhauser & P Zalba. 2004. Variabilidad de suelos y su incidencia en el rendimiento de trigo a nivel de predio. En: Resúmenes XIX CACS (Pp 353). Paraná, Argentina.
- Cate, RB & LA Nelson. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. Soil Sc Soc Am Proc. 35: 658–660.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L González; M Tablada & CW Robledo. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Fernández, R; N Peinemann; E Noellemeyer & A Quiroga. 2006. Efecto de la cobertura sobre la eficiencia del barbecho en la Región Semiárida Pampeana. Resúmenes XX CACS (Pp.397). Salta-Jujuy, Argentina.
- 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. En: Aspectos de la evaluación y el manejo de los suelos en la región semiárida pampeana. Física de suelos (Pp15-22). Public.Téc. N°66. (51 Pp). EEA INTA Anguil.
- Frolla, F; J Zilio & H Krüger. 2016. Profundidad de suelos y respuesta a la fertilización nitrogenada de trigo en siembra directa en la Región Semiárida Bonaerense. En: Actas VIII Congreso Nacional de Trigo. Pergamino, Argentina (digital).
- Johannes, Y & J Hoddinott. 1999. Classification and regression trees: an introduction. Technical Guide #3. International Food Policy Research Institute. Washington, D.C. U.S.A. (26 Pp).
- Krüger, H; F Frolla & J Zilio. 2014. Trigo en zonas marginales. Precipitaciones, retención en el suelo y EUA. En: Actas XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, Argentina. (digital).
- Miranda, R & A Junquera. 1994. Rendimiento de trigo y precipitaciones. I: Campo Experimental. En: Actas III Congreso Nacional de Trigo (Pp 89-90). Bahía Blanca, Argentina.
- Murphy, G; L Spescha & A Veliz. 2010. Condiciones hídricas para el trigo en el sur de Buenos Aires. En: Actas XIII Reunión Argentina y VI Latinoamericana de Agrometeorología (Pp.18-19). Bahía Blanca, Argentina
- Puricelli, C; M Puricelli & H Krüger. 1997. Profundidad útil del suelo y rendimiento del trigo. Propuesta para un criterio de evaluación de las tierras. Bol. Tecn. N°14 (14 Pp). EEA INTA Bordenave.
- Quiroga, A; D Funaro; R Fernández & E Noellemeyer. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana. C. Suelo. 23(1), 79-86.
- Quiroga, A & A Bono. 2007. Manual de fertilidad y evaluación de suelos. Publ. Tecn. N°71(104 Pp). EEA INTA Anguil.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- SAGyP-INTA. Proyecto PNUD ARG/85/019. 1989. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires. Escala 1:500000 (525 Pp). Buenos Aires, Argentina.
- Venanzi, S; H Krüger; J Galantini & J Iglesias. 2008. Rendimientos de trigo en el SO Bonaerense. I.Sistema de labranza y fertilización nitrogenada. En: Actas VII Congreso Nacional de Trigo. Santa Rosa, Argentina. (digital).
- Zilio J; F Frolla & H Krüger. 2014. Variabilidad climática, fertilidad edáfica y rendimientos de trigo en la zona semiárida. En: Actas XXIV CACS. Bahía Blanca, Argentina. (digital).