

# MODELOS DE REGRESIÓN SENCILLOS PARA ESTIMAR EL CONTENIDO DE AGUA EN TODO EL PERFIL USANDO LA HUMEDAD SUPERFICIAL

Alfredo Bono<sup>1</sup>; Roberto Alvarez<sup>2</sup> y Nicolás Romano<sup>1</sup>

EEA INTA Anguil. Ruta Nacional N° 5 - Km. 580 - CC: 11 (6326) Anguil - La Pampa, Argentina  
(2) Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires-CONICET. Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina.  
e-mail: abono@anguil.inta.gov.ar

## Introducción

El contenido de agua en el perfil del suelo es la variable más importante a tener en cuenta en la productividad de los cultivos en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. Desde comienzo de los años '70 se han realizado en la región numerosos trabajos sobre la dinámica y el manejo del agua en el suelo que muestran como condiciona la producción de biomasa y el rendimiento de los cultivos (Alvarez *et al.*, 2006; Funaro *et al.*, 2006; Funaro *et al.*, 2008; Bono *et al.*, 2006; Fernández *et al.*, 2006). La estimación de humedad en profundidad tiene fines prácticos, viéndose limitada su ejecución cuando es necesario obtener información de muchos lotes y tomar decisiones en el corto plazo. Esta limitación ha tratado de ser superada generando métodos sencillos de campo de estimación de humedad al tacto (Quiroga *com. pers.*). Poder estimar la humedad del suelo hasta 140 cm de profundidad o más, sobre la base de muestreos superficiales, sería de utilidad para realizar balances hídricos y aplicar modelos explicativos de los rendimientos como los desarrollados para trigo (Bono & Alvarez, 2006; Bono *et al.*, 1997; Bono & Quiroga, 2003), con mayor facilidad que muestreando todo el perfil. En un trabajo previo, Bono & Alvarez (2008) estimaron el contenido de agua almacenada en el suelo hasta 140 cm de profundidad usando la humedad hasta 60 cm y la profundidad del suelo hasta la tosca mediante una red neuronal artificial, pero para hacer las estimaciones es necesario contar con el software usado para generar dicha red. Nuestro objetivo fue generar un modelo de regresión sencillo capaz de estimar los contenidos de agua de suelos de la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana, hasta 140 cm de profundidad, disponiendo solamente del nivel de humedad en las capas superficiales del perfil sin necesidad de software específico.

## Materiales y Métodos

Entre 2000 y 2006 se realizaron 152 experimentos de fertilización y manejo de cultivos en el este de la Provincia de La Pampa, sur de Córdoba, sur de San Luis, oeste y sudoeste de Buenos Aires, en los que se realizaron 712 muestreos de humedad del suelo

hasta 140 cm de profundidad o hasta la capa de tosca. Las características de los experimentos y la metodología de determinación de densidad aparente del suelo y contenido de humedad han sido descritas en detalle anteriormente (Bono & Alvarez, 2008). Se generó un set de 4443 datos de lámina de agua almacenada en capas de suelo de 20 cm. Las precipitaciones se registraron en todos los sitios calculándose la lámina caída en períodos variables previos a cada muestreo de humedad. Se usaron regresiones lineales para generar modelos estimativos del contenido de agua del suelo hasta 140 cm de profundidad, usando como variables predictivas: i) la humedad de las capas superficiales (0-20, 20-40 y 40-60 cm); ii) la profundidad de la tosca; iii) la textura del suelo; iv) las lluvias acumuladas desde los 90, 75, 60, 45, 30 y 15 días previos al muestreo; v) el nivel de materia orgánica del suelo y; vi) los tipos de manejo como variables categóricas.

En los sitios experimentales no se detectó presencia de napa freática en la profundidad muestreada. El set de datos se particionó en 66% para calibración y 33% para validación. Se empezó probando la capacidad predictiva de las regresiones usando solamente el nivel de humedad del estrato 0-20 cm y luego se fue incorporando en los modelos la humedad de capas más profundas hasta lograr una performance aceptable. Se testearon efectos lineales, cuadráticos e interacciones entre variables. Solo se incluyó en los modelos variables con efectos significativos ( $P = 0.05$ ) y se testeó las ordenadas y pendientes de las rectas de regresión entre datos observados y estimados por el test de  $t$  ( $P = 0.05$ ) contra 0 y 1 respectivamente. También se calculó el RMSE de cada modelo. Los  $R^2$  y RMSE de los modelos se testearon usando metodologías descritas anteriormente (Alvarez, 2009).

## Resultados y Discusión

Utilizando como variables predictivas la lámina de agua en el estrato 0-20 cm del suelo y la profundidad del suelo hasta la tosca se explicó 68% de la variabilidad de la lámina contenida en el suelo hasta

140 cm. Incorporando contenido de agua en la capa 20-40 cm se pasó a explicar 78% de la variabilidad. El mejor modelo se logró usando la lámina de agua sumada en los estratos 0-20, 20-40 y 40-60 cm. Este modelo explicó 87% de la variabilidad de la lámina almacenada en el suelo hasta 140 cm de profundidad (Tabla 1, Figura 1). Ninguno de los modelos ajustados presentó variaciones significativas del  $R^2$  entre el set *calibración* y el set *validación*. Las rectas

de regresión entre datos observados y estimados tuvieron ordenadas no diferentes de 0 y pendientes similares a 1 ( $P = 0.05$ ) en todos los casos. El RMSE de los modelos se redujo significativamente ( $P = 0.05$ ) al incrementarse la profundidad en que se determinaba la lámina de agua. La precipitación, la textura, el nivel de materia orgánica, cultivo presente, momento de muestreo y sistema de labranza pueden influir en el contenido de agua del suelo pero sus

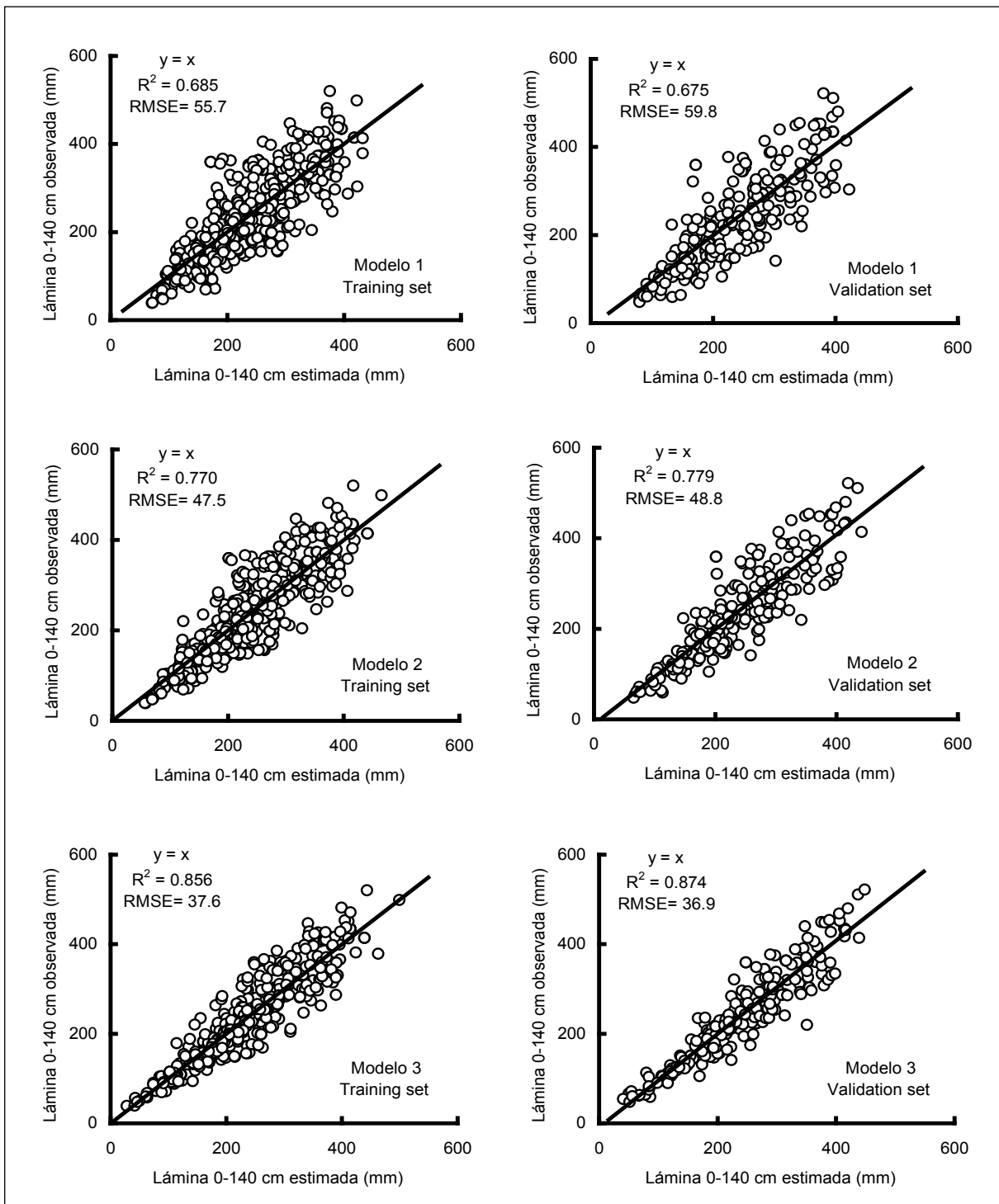


Figura 1. Relación entre el contenido de humedad en el suelo de la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana observado y el estimado por modelos de regresión presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Modelos de regresión para estimar el contenido de agua hasta los 140 cm de profundidad en suelos de las Regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana. L (0-140): lámina (mm) en el estrato 0-140 cm; L (0-20): lámina (mm) en el estrato 0-20 cm; L (0-40): lámina (mm) en el estrato 0-40 cm; L (0-60): lámina (mm) en el estrato 0-60 cm; P: profundidad del perfil hasta la tosca.

Modelo	Ecuación
1	$L(0-140) = 43,9 - 0,0268 * L(0-20) + 0,0524 * L(0-20) * P$
2	$L(0-140) = 23,6 - 0,0041 * L(0-40) + 0,0258 * L(0-40) * P$
3	$L(0-140) = -10,9 + 0,425 * L(0-60) - 0,00280 * L(0-60)^2 + 0,0170 * L(0-60) * P$

efectos no fueron significativos, siendo éstos aparentemente subrogados por las variables que entraron a los modelos.

Con modelos de regresión simples es posible estimar aceptablemente el contenido de agua almacenada en el suelo hasta 140 cm de profundidad usando la humedad hasta 20 cm, 40 o 60 cm y la profundidad del suelo hasta la tosca. El RMSE del mejor modelo logrado fue equivalente al 16% de la media de la lámina de agua en el suelo hasta 140 cm de profundidad.

#### Agradecimiento:

Este trabajo fue parcialmente financiado por la Universidad de Buenos Aires (G004 and G033), CONICET (PIP 02050 y PIP 02608) y FONCYT (PID-BID 37164 - 49).

#### Bibliografía

- Alvarez R.** 2009. Predicting average yield and regional production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach. *Eur. J. Agron.* 30: 70-77 2009.
- Alvarez C., N. Peinemann & A. Quiroga.** 2006. Sistemas de labranza, propiedades edáficas y rendimiento de maíz en Molisoles diferenciados por el régimen hídrico. *Publicación Técnica N° 67.* EEA Anguil INTA. 1-10 pág.
- Bono A. & A. Quiroga.** 2003. Avances en el ajuste de la fertilidad en el cultivo de trigo en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. En: *Trigo: Actualización 2003.* Boletín de Divulgación Técnica N° 76. EEA Anguil INTA. Pág.17-32.
- Bono A. & R. Alvarez.** 2006. Rendimiento de trigo y respuesta a la fertilización en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia de Suelo. Presentación en CD. 10 pág.
- Bono A & R. Alvarez.** 2008. Aplicación de redes neuronales artificiales para estimar el contenido de agua de los suelos en profundidad usando el nivel de humedad superficial. *Actas del XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* CD, comisión 4-14.
- Bono A., J.C. Montoya, P. Lescano & F.J. Babinec.** 1997. Fertilización de trigo con nitrógeno y fósforo en la Región Semiárida Pampera. Campaña 1997. *Publicación Técnica N° 47.* EEA Anguil INTA. 22 pág.
- Bono A., E. Sá Pereira, N. Romano & J.C. Montoya.** 2006. Efecto de la longitud de los barbechos, momentos y formas de aplicación de fósforo en girasol. *Publicación*

*Técnica N° 67.* EEA Anguil INTA. 35-43 pág.

**Fernández R., N. Peinemann, E. Noellermeyer & A. Quiroga.** 2006. Efecto de la cobertura sobre la eficiencia del barbecho en la Región Semiárida Pampeana. *Publicación Técnica N° 66.* EEA Anguil INTA. 37-44 pág.

**Funaro D., N. Peinemann, E. Noellermeyer, M. Saks & A. Quiroga.** 2006. Efecto de la disponibilidad de agua y nitrógeno para girasol en la Región Semiárida Pampeana. *Publicación Técnica N° 67.* EEA Anguil INTA. 26-34 pág.

**Funaro D., J. Garay, R. Rivarola & A. Quiroga.** 2008. Algunos factores determinantes del rendimiento de girasol en la región semiárida pampeana central. *Publicación Técnica N° 72.* EEA Anguil INTA. 27-32 pág. ■