

USO DEL PIVOT CENTRAL COMO SIMULADOR DE LLUVIA PARA OBTENER INDICADORES DE INFILTRACIÓN ¹

Vidal C.², Marano R.³, Carnevale I.⁴, Mieres L.⁵, Massat ⁶, Sartor S.⁷ Picco J. M.⁸
INTA EEA Reconquista. Ruta 11 km 773. Reconquista, Santa Fe, 03482-420784
Fac. de Ciencias Agrarias UNL
Kreder 2805. Esperanza, Santa Fe, 03496-422733 rmarano@fca.unl.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La infiltración del agua de lluvia es quizás la principal propiedad física afectada por el manejo del suelo, ya que de los factores que definen el proceso de infiltración, la estructura del horizonte superficial (interfase suelo-atmósfera) y el grado de cobertura están íntimamente relacionados con aquél.

Para caracterizar la situación actual de suelos con diferentes manejos en cuanto a la captación de las lluvias o riego, se dispone de diversas técnicas y equipamientos. Uno es el infiltrómetro de doble anillo (DA), método de campo tradicional que presenta algunas dificultades en suelos estratificados o con limitantes estructurales (pie de arado, capas laminares). Desde hace unos años, se utilizan los tensioinfiltrómetros (TI) descritos por Perroux and White (1988), método que permite cuantificar el proceso de infiltración a través de los macroporos. Se aconseja también el uso de simuladores de lluvia, para evaluar el efecto del golpeteo o “splash” (energía cinética) y de la cobertura superficial de los suelos. Dos son de uso más frecuente en Argentina, uno adaptado por Marelli *et al.* (SM,1986) y otro desarrollado por Irurtia y Mon (SI,2004). EL SM aplica la lluvia desde una altura de 3 m, generando intensidades entre 30 y 60 mm h⁻¹ y una energía promedio de 200 kJ ha⁻¹mm⁻¹, en parcelas de 1 m² El SI aplica la lluvia desde goteros con velocidad inicial nula a una altura de 1,5 m, intensidades variables entre 0 y 300 mm h⁻¹ y energía promedio de 130 kJ.ha⁻¹ mm⁻¹ (Irurtia y Mon, 2004) con parcelas de 0,0625 m². En áreas de riego con pivote central, la aplicación del propio equipo como simulador de lluvia es una novedad. El objetivo de este trabajo fue *evaluar el uso de un pivote central como simulador de lluvia para las condiciones*

¹ Trabajo realizado en el marco del Proyecto INTA AERN 1613 Desarrollo de tecnologías para la optimización de sistemas de riego complementario en regiones húmedas, subhúmedas y semiáridas.

² Investigadora EEA INTA Reconquista

³ Profesor cátedra Diagnóstico y Tecnología de Aguas. Facultad Cs Agrarias UNL

⁴ Ing. Agr. colaborador cátedra Diagnóstico y Tecnología de Aguas. Facultad Cs Agrarias UNL

^{5,6,7,8} Alumnos tesistas cátedra Diagnóstico y Tecnología de Aguas. Facultad Cs Agrarias UNL

de infiltrabilidad de Argiudoles Acuérticos del noreste santafesino y compararlo con otras técnicas de medición de infiltración en campo.

ÁREA DE ESTUDIO

Las mediciones se llevaron a cabo en el módulo de riego de la EEA Reconquista, a 17 km al sur de la ciudad homónima y al oeste de la Ruta Provincial N° 1 (Extremo NW: 29° 15' 8'', S; 59° 42' 59'' W y Extremo SE: 29° 15' 34'', S; 59° 41' 41'' W).

MATERIALES y MÉTODOS

Suelos: Las unidades cartográficas presentes en el módulo de riego (46,1 ha) son cuatro: Reconquista 02 (RTA 02) es la de mayor importancia en cuanto a superficie (60,8 %) con 28.5 ha, seguida de RTA 09a (27.7%) con 12.8 ha, RTA 37v (7,1%) con 3,3 ha y RTA 09 (4.4%) con 2 ha (Vidal, 2006).

Manejos: La secuencia de cultivos del módulo en los últimos años fue Maíz/Soja/Trigo-Algodón. Dado que el círculo de riego está dividido en cuartos de aproximadamente 11,5 ha cada uno, en cada año coexisten los 4 cultivos y en cada uno de ellos se respeta año tras año la misma secuencia en siembra directa.

Equipo de riego: Es un pivote central de 109,5 m³h⁻¹ con seis torres de 54,4 m y un voladizo de 26,8 m. La longitud de la circunferencia es 326,4 m y la superficie total regada es de 39,2 ha. La fuente de agua es subterránea, con excelente calidad química. La idea original de utilizar el pivote como simulador de lluvia parte de la premisa de dejar el equipo fijo durante el ensayo, aplicando la lluvia con aspersores cuyo alcance máximo es menor a cuatro metros y ubicados a 2,10 m de altura. En estas condiciones se midió pluviometría, seleccionando el último tramo y el voladizo, donde presenta la mayor tasa de aplicación.

Para medir la escorrentía superficial se construyeron parcelas (Figuras 1a y 1b) de chapa reforzada de 1 m² que se colocaron en el campo de modo tal de introducir 5 cm en el suelo y dejar 10 cm de borde. En uno de los lados se diseñó un orificio de 1" para conducir el escurrimiento, que fue conectado a una tubería de 6 m de longitud y en su extremo se realizó un pozo para recolectar la lluvia, de modo tal que el agua de los aspersores no ingrese al pozo de recolección.

Las parcelas (cuatro) se instalaron en sitios homogéneos en el voladizo y en la última torre del pivote, con diferentes intensidades de lluvia que fueron medidas durante la experiencia. El agua escurrida de cada evento fue recolectada a intervalos regulares y se midió

con probetas aforadas. La tasa de infiltración (T_i) surge de descontar a la pluviometría la escorrentía (T_e), en cada período de análisis. Para ajustar el proceso de infiltración se utilizó la ecuación de Horton (1), de amplio uso con simuladores de lluvia (Marano *et al.*, 2006). Con los datos de cada parcela de escurrimiento se ajustó el número de curva (CN) para la condición II (estándar), de acuerdo al procedimiento del Soil Conservation Service (SCS, 1972). También se utilizaron DA medidos en el mismo sitio, cuyos datos fueron presentados por Vidal (2006) y TI en sitios adyacentes a las parcelas de escurrimiento con seis repeticiones. En los TI se aplicaron dos tensiones (τ), de mayor a menor: 3 cm y 0, para determinar la conductividad hidráulica en poros > 1 mm de diámetro. La infiltración acumulada (I_{cum}), fue ajustada de acuerdo a la ecuación de Kostiakov y la Infiltración básica (I_b) según el procedimiento de Grassi (1987). La conductividad hidráulica para ~~caso~~ obtuvo a partir de las ecuaciones de Ankeny *et al.* (1991), basadas en la aproximación de Wooding, obteniendo de este modo dos valores de conductividad hidráulica ($K_{h\tau_3}$ y $K_{h\tau_0}$).

Con todos los métodos se obtuvo la infiltración promedio (I_p), resultante de dividir la cantidad de infiltración total por el tiempo que duró la prueba.

Todas las mediciones de infiltración se llevaron a cabo durante 120 minutos, o en su defecto cuando al menos tres datos sucesivos se reiteraban (volumen escurrido en el caso de pivote o lámina infiltrada en DA y TI), considerando en este caso que se alcanzó el estado estacionario. Para poder comparar los valores medios de T_i , K_h e I_b se verificó normalidad de las variables.

De cada sitio se obtuvieron muestras de suelo superficiales –alteradas–, para evaluar contenido hídrico gravimétrico y muestras inalteradas para medir densidad de suelo (δ_s) con el método de cilindros.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

La intensidad de lluvia del último tramo del pivote varió entre 40 y 70 mm h⁻¹, valores comparables tanto con simuladores SM, instalados con aspersor veejet, con altura y energía cinética similar, como con simuladores SI, de menor energía cinética. Se pudo ajustar muy bien todos los parámetros de la ecuación de Horton en las intensidades próximas a 70 mm h⁻¹ (Tabla 1), mientras que con intensidades más bajas no se logró un buen ajuste (Figuras 1c y d). Los valores de infiltración inicial obtenidos (F_o) fueron superiores a la máxima tasa de aplicación del pivote, con muy baja variabilidad (Tabla 1), indicando que no habría problemas

de encharcamiento con la aplicación de esa tasa de pluviometría. En cuanto a la infiltración final (F_c), si bien en ambas repeticiones de mayor pluviometría ajustó significativamente (Tabla 1), difieren mucho entre sí, indicando la necesidad de un mayor número de repeticiones con intensidades altas. El uso de bandejas para controlar el escurrimiento en microparcels permite también determinar el valor de curva número, que frecuentemente se obtiene de tablas obtenidas bajo otras condiciones. Los resultados para este suelo (Tabla 1) indican un alto potencial de escorrentía, explicados en las condiciones texturales del horizonte superficial y subsuperficial, con porcentajes de arcilla entre 15 y 50 % (Vidal, 2006). Además, las condiciones de agua inicial en el horizonte superficial fueron relativamente húmedas (promedio de $0,3 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) al momento de las mediciones. En el noreste santafesino no se utiliza el método desarrollado por el SCS, por lo que estos resultados constituyen una información original para la región.

Con el método de DA se alcanzaron menores valores de I_b (Tabla 3) que con el método de ajuste de Horton, destacándose que resultaron similares a los obtenidos para K_0 de acuerdo al método de Ankeny (Tabla 2) usando tensiointrómetros de disco. Estos resultados no coinciden con los obtenidos por Marano *et al.* (2006), en Argiudoles del centro de Santa Fe sembrados en directa con secuencia trigo-soja, donde la I_b con DA presentó valores muy diferentes a K_0 .

En cuanto a la distribución de macroporos, de acuerdo a los valores de K_0 y K_3 , aproximadamente el 50% del flujo se conduce por poros mayores a 1 mm de diámetro y el otro 50% en poros menores a ese diámetro. Con la determinación muy baja del número de poros m^{-2} (Tabla 2) se puede concluir que este suelo presenta sólo una pequeña proporción de macroporos estructurales, que son los principales conductores del agua en el suelo. En esta región las mediciones realizadas en tierras prístinas refieren valores de conductividad hidráulica de 34; 15,5 y 9,4 mm h^{-1} para las tensiones de 0, 3 y 4 respectivamente (Vidal y Aparicio, 2008).

Otra información de interés que se obtuvo con los tres métodos es I_p , resultando muy similares entre sí (Tablas 1, 2 y 3). Dado que esta variable parece no depender de la intensidad de lluvia, puede ser un aspecto de gran interés por cuanto permitiría evaluar la cantidad total de agua infiltrada en función de la duración de un riego o de una lluvia, al menos en un período de 120 minutos.

Tabla 1: Intensidad de lluvia, velocidad de infiltración inicial (Fo) y final (Fc) ajustados según ecuación de Horton, Infiltración promedio (Ip) y estimación de curva número (CN) obtenidos con simulador de lluvia para estado estacionario.

Intensidad mm h ⁻¹	Fo mm h ⁻¹	Fc mm h ⁻¹	K	Ip mm h ⁻¹	CN
70	124,8	11,7	6,1		
p	0,013	0,021	0,023	23,6	91
65	115,7	26,2	3,61		
p	0,004	0,0001	0,012	38,7	88
40	s/d	25,0	s/d	25,5	84
40	s/d	18,2	s/d	22,1	94
promedio	120,2	20,3	5	27	89
CV	5,4	33,2	36,3	27,7	4,8

Tabla 2: Valores promedio de conductividad hidráulica (mm h⁻¹) a diferentes tensiones obtenidas con tensioinfiltrómetros y densidad de suelo (δ_s)

	q_0^∞ (mm h ⁻¹)	q_3^∞ (mm h ⁻¹)	K_0 (mm h ⁻¹)	K_3 (mm h ⁻¹)	Ip (mm h ⁻¹)	N° poros m ⁻²	δ_s g cm ⁻³
promedio	20,5	12,8	10,2	5,3	23,8	6	1,5
CV (%)	11	17	20	16	18	--	6,7

Tabla 3. Coeficientes de ajuste de la ecuación de Kostiakov e Infiltración básica obtenidos con doble anillo

	A	B	a	b	Ib mm h ⁻¹	Ip mm h ⁻¹
promedio	2,46	0,62	91,23	-0,38	11,4	27,7
CV (%)	30	30	28	27	35	32

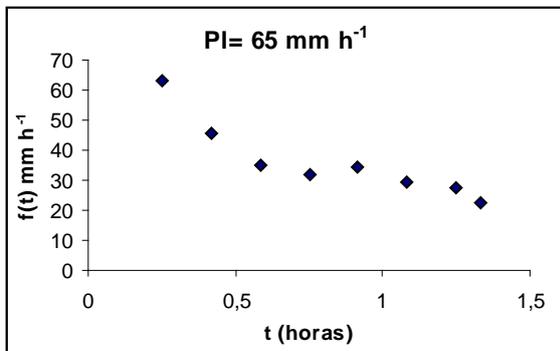
Los valores de los coeficientes ajustaron significativamente con $P < 0,001$



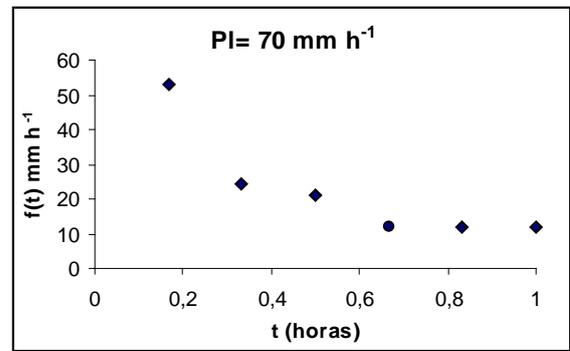
Figura 1a: Instalación de bandejas y pluviómetros clase B.



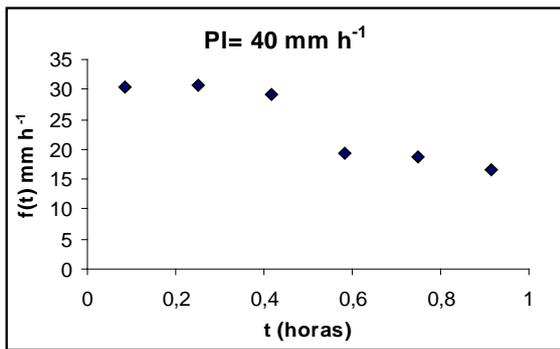
Figura 1b: Parcela de escurrimiento con intensidad de 70 mm h^{-1} y 1 h de aplicación.



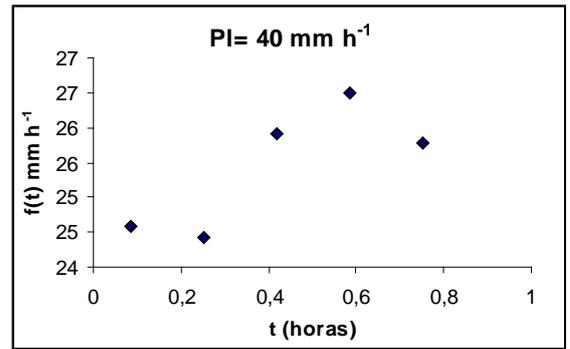
a)



c)



b)



d)

Figuras 2 a), b), c) y d) representan la velocidad de infiltración- $f(t)$ de la ecuación de Horton para diferentes intensidades de lluvia del pivote central.

CONCLUSIONES

Estos resultados preliminares permiten inferir que el pivote central puede ser utilizado como simulador de lluvia para representar el proceso de infiltración. A mayor pluviometría, mejor es el ajuste con la ecuación de Horton, cuyos resultados son muy útiles para estimar la velocidad de infiltración inicial, correlacionándola con la pluviometría instantánea del tramo final del equipo. La infiltración promedio y velocidad de infiltración final también tuvieron muy buen ajuste con el procedimiento de Horton. Los infiltrómetros de doble anillo y los tensioinfiltrómetros permiten representar el proceso de infiltración básica en estado estacionario, resultando coincidente la infiltración básica con la conductividad hidráulica saturada ($\tau=0$). Alternativamente los tensioinfiltrómetros fueron utilizados para caracterizar la distribución de flujo en macroporos y evaluar el estado general de la estructura del módulo de riego, que presenta características muy diferentes a las condiciones prístinas.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos expresar nuestro más sincero agradecimiento a los señores Nelson Vallejos, Norberto Tomadín y Adrián Ardit de INTA Reconquista por la predisposición y colaboración en las determinaciones de campo.

Bibliografía

- Ankeny, M.D.; M. Ahmed; T.C. Kaspar y R. Horton. 1991. Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55:467-470.
- Aoki, A. M. y R. Sereno, 2004. Modificaciones de la Conductividad Hidráulica y Porosidad del Suelo, Estimadas mediante Infiltrómetro de Disco a Tensión, en *Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría*, Ed R Filgueira y F. Micucci, Editorial Univ La Plata, 159-180.
- Aoki, A. M. y R. Sereno, 2006. Evaluación de la infiltración como indicador de calidad de suelo mediante un microsimulador de lluvias. *Agriscientia XXIII(1)*:23-31
- Grassi C, 1987. Diseño y Operación del Riego por superficie. Ed. CIDIAT Venezuela 415 p
- Irurtia, C. y R. Mon. 2004. Aplicación de Simuladores de LLuvias Portátiles para determinar Infiltración de suelo a Campo en *Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría*, Ed R Filgueira y F. Micucci, Editorial Univ La Plata, 131-144.
- Joel, A. e I. Messing. 2001. Infiltration rate and hydraulic conductivity measured with rain simulator and disc permeameter on sloping arid land. *Arid Land Research and Management* 15:371-384.
- Marano R, Imhoff S, Micheloud H. 2006a. Relación lluvia-infiltración en Argiudoles del centro-este santafesino. XX Congreso Argentino Ciencia del Suelo. Salta, 19 al 22 setiembre.
- Marano R, Micheloud H, Demarchi E. 2006b. Mediciones de escurrimiento superficial con microparcelas en la región central de la Pcia. de Santa Fe. Trabajo aceptado para presentación oral en el XX Congreso Argentino Ciencia del Suelo. Salta, 19 al 22 setiembre.
- Marelli, H.J.; J.M. Arce y B. Masiero (1986). “*Simulador de lluvias para investigación básica en conservación de suelos*”. Publicación Técnica N° 8 Serie Suelos y Climatología. EEA INTA Marcos Juárez. 15 pp.
- Perroux K.M. & I. White. 1988. Designs for disk permeameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:1205-1215.
- Soil Conservation Service. USDA. (1972) “National Engineering Handbook, Sección 4, Hydrology”. USDA-SCS, Washington, D.C.

- Vidal C. (2006) Evaluación de la aptitud de las tierras para riego por aspersión en el Noreste Santafesino. Trabajo Final para el grado de Especialista en Riego de tierras Agrícolas. Universidad Nacional del Litoral
- Vidal, C.M.; V. Aparicio. 2008. Evaluación de algunas propiedades físicas y químicas de suelos provenientes del desmonte en el norte de Santa Fe. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del suelo. Potrero de los Funes, San Luis. Mayo 2008