

## DISEÑO DE UN SIMULADOR DE LLUVIA PARA ESTUDIOS DE INFILTRACION Y EROSION DE SUELOS

C M ROSTAGNO<sup>1</sup>, D GARAYZAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Área Ecología Zonas Áridas, CENPAT-CONICET, Bv. Brown s/n, 9120-Puerto Madryn, Chubut, Argentina.

<sup>2</sup>CERZOS, UNS, CONICET, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina

### DESIGN OF A RAINFALL SIMULATOR FOR INFILTRATION AND SOIL EROSION STUDIES

A rainfall simulator was designed to collect data on infiltration, runoff, and sediment production from rangelands, using plots up to 3 m long. The apparatus is portable and easily assembled. Rain intensity can be varied between 60 and 140 mm h<sup>-1</sup> while keeping an adequate uniformity and drop size distribution. Raindrop size distribution is similar and impact velocity is lower than those of a natural rainfall.

**Key words:** Rainfall simulator - Infiltration - Erosion.

La erosión hídrica es uno de los principales procesos de degradación de los suelos. La evaluación de este proceso en condiciones de lluvia natural requiere de períodos largos (5 a 10 años), sobre todo en las zonas áridas y semiáridas donde la frecuencia de lluvias con capacidad erosiva es relativamente baja. Este problema ha sido resuelto en parte mediante el empleo de simuladores de lluvia, con los cuales se puede obtener un gran volumen de información en períodos breves. Aparte de esta ventaja, los simuladores de lluvia permiten controlar la intensidad de la lluvia aplicada, son eficientes en término de tiempo y mano de obra requerida, y pueden adaptarse fácilmente para estudios de laboratorio (Meyer 1965). Sus principales desventajas son: 1) la dificultad de simular lluvias con características similares a las lluvias naturales y, 2) las limitaciones en el tamaño de las parcelas experimentales a emplear. Meyer (1988) señala que el simulador de lluvia ideal debería tener un bajo costo de construcción y operación, reproducir de la mejor manera posible una lluvia natural, ser fácil de transportar, y poder emplearse en cualquier terreno.

En las áreas de pastizales naturales, los simuladores de lluvia han sido empleados para evaluar la influencia de distintas prácticas de manejo (sistemas de pastoreo, fuego, control químico y mecánico de arbustos, etc.) sobre la infiltrabilidad de los suelos y la producción de sedimentos. Uno de los simuladores de lluvia que más ha sido empleado en los últimos años en los pastizales naturales del oeste de Estados Unidos es el simulador de brazos rotativos (Swanson 1965, Simanton *et al.* 1986). El mismo consta de 10 brazos de 7,8 m de largo que convergen a un mástil central que rota lentamente, y 30 aspersores colocados a una altura de 2,5 m. Este simulador puede emplearse con dos parcelas de 10,6 m x 3,0 m simultáneamente. Si bien esto constituye una gran venta-

ja, el gran volumen de agua requerido ha limitado su uso. Este simulador ha sido empleado en nuestro país para evaluar la erosión hídrica en suelos labrados (Mareni *et al.* 1984). Marelli *et al.* (1986) construyeron un simulador de intensidad variable, especialmente diseñado para evaluar erosión entre surcos en parcelas de hasta 1 m<sup>2</sup>. Este simulador, con un mecanismo que le imprime un movimiento oscilante a los aspersores, por lo cual su construcción y manejo resultan más complicado que el de un simulador con aspersor fijo. En la Patagonia se ha empleado un simulador de lluvia por goteo para estudios de infiltración y erosión de suelos con parcelas de 0,15 m<sup>2</sup> a 0,40 m<sup>2</sup> (Rostagno 1989), similar al desarrollado por Blackburn *et al.* (1974). Sus principales limitaciones son la uniformidad en el tamaño de gotas y el tamaño reducido de parcelas que pueden emplearse. En este manuscrito se describen las características y el manejo de un simulador de lluvia que puede ser empleado en estudios hidrológicos y de erosión de suelos con parcelas de mediano tamaño. Sus principales ventajas son la relativamente buena reproducción de las características de una lluvia natural en cuanto a distribución del tamaño de gota, la posibilidad de poder emplear parcelas de hasta 3 m de largo, y el escaso tiempo insumido para su instalación, unido a su bajo costo de construcción.

#### Descripción del equipo

El simulador de lluvia emplea un pico aspersor de cono lleno, orientado hacia abajo. Los dos modelos de aspersor empleados en las experiencias realizadas en laboratorio y a campo fueron los modelos 460.966 y 460.968 fabricados por la empresa Lechler GmbH de Fellbach, Alemania. Ambos aspersores producen gotas de similar tamaño, cuya distribución es similar a la de una lluvia natural, y tienen, a igual presión, el mismo

caudal ( $1 \text{ bar} = 18,95 \text{ l min}^{-1}$ ). La diferencia principal entre ambos picos es el ángulo de aspersión ( $90^\circ$  y  $120^\circ$  respectivamente). Del mismo dependen el diámetro del área de mojado, que aumenta con el ángulo de aspersión, y la velocidad inicial de las gotas de lluvia, que disminuye con dicho ángulo. El simulador de lluvia está formado por una estructura metálica de cuatro patas extensibles que permiten su nivelación aún en terrenos de pendientes fuertes. A partir de esta estructura se extiende un caño de sección cuadrada ( $4 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ ), de  $2,30 \text{ m}$  de largo. Este caño forma un ángulo de  $45^\circ$  con la estructura principal en la que va encajado, en cuyo extremo tiene soldado un caño vertical, de sección cuadrada de  $6 \text{ cm}$  de largo y  $2,5 \text{ cm}$  de lado, en el que se ajusta un caño que está soldado a una T donde van conectados el aspersor y un manómetro. Nivelando la estructura metálica se asegura la verticalidad del eje del aspersor. El equipo complementario del simulador de lluvia para tareas de campo se completa con una pequeña bomba autocebante, un tanque de  $2.000$  litros para transportar agua, bordes de parcelas y colectores de escurrimiento y sedimento, y una cortina para atenuar los efectos del viento.

#### Distribución espacial de la lluvia

La distribución espacial de la lluvia fue evaluada mediante 33 colectores ubicados dentro de un círculo de  $4 \text{ m}$  de diámetro (diámetro de mojado de los aspersores colocados a  $3,50 \text{ m}$  de altura), a  $0, 0,5, 1, 1,5$  y  $2 \text{ m}$  del centro. Luego de la aplicación de una lluvia de  $15$  minutos y una intensidad media de  $80 \text{ mm h}^{-1}$  se midió en cada colector la lámina recogida y se calculó el valor promedio y el coeficiente de variación (CV). La lámina recogida disminuye desde el centro hacia la periferia. Los colectores ubicados a  $1,5 \text{ m}$  del centro recibieron el  $67\%$  de la lámina recogida por el colector ubicado en el centro del círculo, mientras que los colectores ubicados a  $2 \text{ m}$  del centro recogieron una lámina de menos del  $3\%$  de la del colector central. El CV para los valores de los 25 colectores ubicados dentro del círculo de  $3 \text{ m}$  de diámetro fue del  $17,9\%$ . El área de mojado más o menos uniforme (dentro del  $60\%$  del valor del colector central) estaría incluida en un círculo de  $3,40 \text{ m}$  de diámetro para el aspersor de  $90^\circ$  y  $3,80 \text{ m}$  para el de  $120^\circ$ .

#### Distribución del tamaño de gotas

La distribución del tamaño de gotas de una lluvia simulada a una presión de trabajo de  $0,50$  bares fue calculada a partir de la curva volumen acumulado-tamaño de gotas a  $1 \text{ bar}$  y los valores del tamaño de gota  $D_{32}$  para presiones desde  $1$  a  $10$  bares provistos por la empresa fabricante. En la Figura 1 se muestran las curvas de volúmenes acumulados en función de los tamaños de gotas de

una lluvia simulada de  $80 \text{ mm h}^{-1}$  ( $0,5$  bares de presión; aspersor a  $3,50 \text{ m}$  de altura). Los tamaños resultantes son ligeramente inferiores a los de una lluvia natural de la misma intensidad. Como referencia se muestran los tamaños de gotas calculados mediante el modelo de Zanchi y Torri (1980), para una lluvia de la misma intensidad.

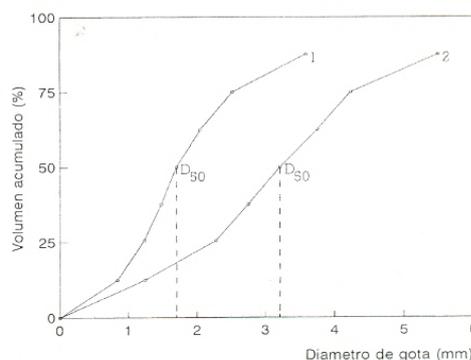


Figura 1: Tamaño de gotas correspondiente a distintos volúmenes acumulados para una lluvia de  $80 \text{ mm h}^{-1}$  producida por el simulador (aspersores de  $90^\circ$  y  $120^\circ$ ) (1), y calculados según Zanchi, Torri (1980)(2)

#### Velocidad de impacto y energía cinética de la lluvia simulada

La velocidad de impacto de las gotas de distintos tamaños fue extraída del trabajo de Epema y Riezebos (1984). Estos autores midieron, para distintas alturas de caída, las velocidades de impacto de gotas de distintos diámetros. Como las gotas salen del aspersor con una velocidad inicial  $V_0$ , es necesario calcular la altura de caída equivalente a esa  $V_0$  para sumársela a la altura de caída real. La velocidad inicial se calculó según la técnica descrita por Costin y Gilmour (1970). La misma consiste en colocar los picos asperjando hacia arriba y medir las alturas medias de elevación de las gotas (promedio de altura máxima y mínima alcanzada por las gotas). El cálculo de la velocidad inicial se realizó según la fórmula  $V_0 = 2gh$ . Para una presión de salida de  $0,5$  bares las  $V_0$  fueron de  $4,43 \text{ m s}^{-1}$  y  $2,89 \text{ m s}^{-1}$ , y las alturas de caída equivalente fueron de  $1,3 \text{ m}$  y  $0,5 \text{ m}$  para los aspersores de  $90^\circ$  y  $120^\circ$  respectivamente. La energía cinética (KE) de la lluvia se calculó para ocho intervalos de volúmenes de  $12,5\%$  considerando la velocidad de impacto de su correspondiente diámetro de gota ( $D_{12,5}$ ,  $D_{25}$ , etc.) (Tabla 1). La KE total suma  $18,64 \text{ J/m}^2/\text{mm}$ , lo que equivale a un  $66\%$  de la KE de una lluvia natural de la misma intensidad,

Tabla 1: Energía cinética (KE) para cada intervalo de volumen acumulado, calculado según  $KE = 1/2 m (V)^2$ , de acuerdo al tamaño de gota máximo para el intervalo. Aspersor de 90°;  $I=80 \text{ mm h}^{-1}$

Volumen acumulado (%)	Diámetro de gota (mm)	Velocidad de impacto (m/s)	KE $\text{J m}^{-2}$ $0,125\text{mm}^{-1}$
12,5	0,84	3,6	0,81
25,0	1,23	4,6	1,32
37,5	1,48	5,4	1,82
50,0	1,70	5,9	2,17
62,5	2,05	6,2	2,40
75,0	2,52	6,7	2,80
87,5	3,58	7,4	3,42
100	5,50	7,9	3,90

calculada según la ecuación de Wischmeier y Smith (1958) que relaciona energía cinética e intensidad.

#### Operación del equipo

La instalación del simulador de lluvia demanda entre 20 y 30 minutos. Las tareas previas a la puesta en funcionamiento del equipo, (instalación de las parcelas y traslado del agua) son las que llevan mayor tiempo. Una vez instalado el simulador junto a la parcela, que ha sido previamente cubierta con un nylon, se pone en marcha la bomba y se regula la presión de acuerdo a la intensidad de lluvia que se quiera simular. El muestreo puede realizarse a 1, 3 y 5 minutos de iniciado el escurrimiento, y luego a intervalos de 5 minutos hasta el final de la lluvia. A partir de esta información se pueden determinar la tasa de escurrimiento y, por diferencia entre ésta y la intensidad de la lluvia, la de infiltración para cada intervalo de muestreo. Los sedimentos removidos se determinan por secado y pesado de la muestra total o de una alícuota. En la Figura 2 se muestran las curvas de escurrimiento y producción de sedimentos de una lluvia simulada sobre un suelo del NE de la provincia de Chubut. Si uno está dispuesto a aceptar la limitación en cuanto a la menor energía cinética de la lluvia simulada, con este simulador se puede obtener información valiosa a un costo relativamente bajo.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento L. Videla y R. Sottini por su colaboración en las tareas de campo, y a los dos revisores del manuscrito por sus acertadas sugerencias.

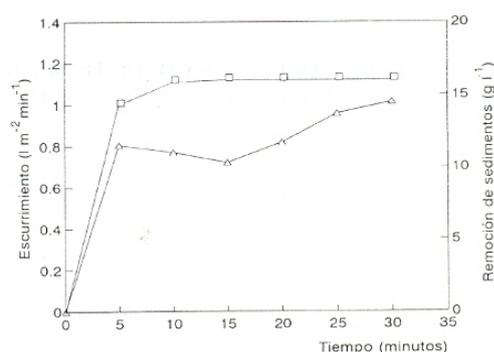


Figura 2: Tasa de escurrimiento ( $\text{l m}^{-2}\text{min}^{-1}$ )(□) y remoción de sedimentos ( $\text{g l}^{-1}$ )(Δ) durante una lluvia simulada de  $70 \text{ mm h}^{-1}$  ( $1,16 \text{ l m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ )

#### REFERENCIAS

- Blackburn W H, Meeuwig R O, Skau C M. 1974. A mobile infiltrometer for use on rangeland. *J. Range Manage.* 27:322-323
- Costin A B, Gilmour D A. 1970. Portable rainfall simulator and plot unit for use in field studies of infiltration, runoff, and erosion. *J. of Appl. Ecology* 7:193-200
- Epema G F, Riezebos H Th. 1984. Fall velocity of waterdrops at different heights as a factor influencing erosivity of simulated rain. *Catena Supplement* 4:1-17
- Marelli H J, Mir B M, Arce J, Lattanzi A. 1984. Evaluación de la erosión hídrica en suelo labrado. *Ciencia del Suelo* 2: 69-77
- Marelli H J, Arce J M, Masiero B. 1986. Simulador de lluvias para investigación básica en conservación de suelos. Pub. Técn. No. 8, INTA, EEA Marcos Juárez, 15 pp.
- Meyer L D. 1965. Simulation of rainfall for soil erosion research. *Trans. ASAE* 8:63-65
- Meyer L D. 1988. Rainfall simulators for soil conservation research. In Lal, R. (Ed.), *Soil erosion research methods*. Soil and Water Conservation Soc., Iowa, 75-96
- Rostagno C M. 1989. Infiltration and sediment production as affected by soil surface conditions in a shrubland of Patagonia, Argentina. *J. Range Manage.* 42:382-385
- Simanton J R, Johnson C W, Nyhan J W, Romney E M. 1986. Rainfall simulation on rangeland erosion plots. In: *Proc. Rainfall Simulator Workshop*, Tucson, Arizona, 1985. Soc. for Range Management, p. 11-17
- Swanson N P. 1965. Rotating-boom rainfall simulator. *Trans. ASAE* 8:71-72
- Wischmeier W H, Smith D D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophysical Union*, 39:285-291
- Zanchi C, Torri D. 1980. Evaluation of rainfall energy in central Italy. In: De Boodt, M. and D. Gabriels (Eds.), *Assessment of Erosion*, Wiley, p. 133-142