

# Análisis de la intensidad y duración de la lluvia simulada mediante manipulación manual, para el diseño y construcción de un simulador de lluvias

\*J. L. Carreras-Nampulá<sup>1</sup>, C. García-Lara<sup>2</sup>  
E. Espinoza-Medinilla<sup>2</sup>, R. González-Herrera<sup>2</sup>, L. Medina-Sansón<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Maestría en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos. Facultad de Ingeniería, UNICACH. | <sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, UNICACH. | <sup>3</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNACH. \*Autor correspondiente: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Lib. Nte. Pte. s/n. Col. Lajas Maciel, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 29000. México. E-mail: eduardo.espinoza@unicach.mx.

## RESUMEN

El presente trabajo describe el estudio realizado para el diseño y construcción de un equipo de simulador de lluvias, el cual permite controlar variables importantes de la lluvia como son: intensidad y duración. El equipofue diseñado con tubos de PVC de 13 mm debido a que es la medida más pequeña en el mercado y además es de bajo costo con respecto a otros materiales. Consta de un bastidor de 1 m<sup>2</sup> con orificios de 0.8 mm como sistema generador de gotasque se conecta a un recipiente de 19 litros a través de tubos de PVC; el flujo del agua se controla mediante manipulación mecánica lo que permite estabilizar la presión. Los resultados de las pruebas indican que el comportamiento en el volumen de agua no es uniforme, debido al medio de control utilizado.

**Palabras claves:** lluvia simulada, calibración, duración e intensidad de la lluvia.

## ABSTRACT

The present paper describes the study for the design and construction of a rainfall simulator equipment, which allows control important variables of a rain such as: intensity and duration. The equipment was designed with PVC pipes of 13 mm because it is the smallest on the market and is inexpensive compared to other materials. Consists of a frame of 1 m<sup>2</sup> with 0.8 mm holes droplet generator system is connected to a 19 liter container through PVC tubes, the water flow is controlled by allowing mechanical handling stabilize the pressure. The test results indicate that the behavior in the volume of water is not uniform due to the control means used.

**Key words:** simulated rain, calibration, duration and intensity of the rain.

## INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso vital y en gran medida no renovable, lo que implica que su pérdida y degradación no son reversibles en el curso de una vida humana (FAO, 2015). Cada vez se sabe más acerca de los problemas que afectan al suelo gracias a las investigaciones que se han realizado en los últimos años. En la república mexicana se menciona que el 73.34% tiene algún grado de erosión, de la cual la erosión hídrica constituye la forma más frecuente de degradación del suelo que representa el 37% (Ramírez-Carballo & Pedroza-Sandoval, 2007).

La erosión del suelo en la república mexicana es un problema ambiental muy grave que afecta a gran parte del territorio nacional, siendo la lluvia uno de los principales causantes (Montes-León *et al.*, 2011).

En el estado de Chiapas las intensas lluvias ocurridas en los últimos años por fenómenos meteorológicos extre-

mos, se asocian con graves procesos de erosión hídrica (Pérez-Nieto *et al.*, 2012). Esto, aunado a la composición de los suelos y la deforestación por el crecimiento de la población debido a la migración del campo a la ciudad y la falta de medidas de conservación ha llevado a acelerar el proceso natural de erosión. Diversas investigaciones se han realizado en los últimos años en el estudio y cuantificación de los procesos de erosión con el propósito de poder desarrollar instrumentos que permitan investigar en breve tiempo la relación causa-efecto de las precipitaciones sobre las propiedades del suelo. Para lo cual se han diseñado y construido diversos simuladores de lluvia, los cuales son instrumentos diseñados para aplicar agua de forma similar a la lluvia natural, bajo condiciones controladas (Benito *et al.*, 2001). Asimismo, los estudios con lluvia simulada no pretenden sustituir las investigaciones realizadas con lluvia natural, sino complementarlas.

Por lo antes mencionado es relevante el diseño y calibración de un simulador de lluvias que contribuya al estudio de la erosión hídrica sin la necesidad de contar con una lluvia natural, ya que es muy difícil saber con certeza, dónde y cuándo lloverá, así como tampoco si el evento tendrá la intensidad y duración necesaria para producir erosión. El objetivo del presente estudio es controlar la intensidad y duración de la lluvia simulada que nos permita el diseño y calibración de un simulador de lluvias para cuantificar los efectos de la precipitación a través del control de la intensidad bajo precipitaciones controladas.

## METODOLOGÍA

Se diseñó y construyó un simulador de lluvia, como modelo se eligió al desarrollado por (Martínez-Mena *et al.*, 2001), con modificaciones en la estructura y funcionamiento, considerando las variables de intensidad y duración de las precipitaciones. Conocer el efecto de estas variables permitirá evaluar la susceptibilidad del suelo a ser erosionado.

Para realizar el control de las variables mencionadas fue necesario construir un equipo que permitiera generar desde gotas hasta un flujo de agua de una forma controlada. El prototipo permite variar la altura del recipiente para distribuir agua a diferentes presiones, lo cual se realizó con una válvula de control, que permitió regular el flujo de salida de agua a diferentes intervalos de tiempo.

Se realizaron 24 ensayos con tres repeticiones para cada uno, a un metro y 1.5 metros para diferentes presiones de trabajo; para evaluar la uniformidad de la lluvia simulada en el sistema se utilizaron 16 recipientes de 1000 ml, distribuidos en cuatro filas a intervalos de 20 cm, para determinar el volumen de agua acumulado durante 60 y 120 segundos.

Los resultados de las pruebas realizadas fueron manipulados y procesados en el software Matlab R2012a.

### Calibración del simulador

La calibración del simulador consistió en evaluar la presión de trabajo en el sistema mediante la apertura de la válvula, lo cual puede ser determinado mediante el cálculo del caudal utilizando el volumen del líquido que pasa a través de los tubos. Lo anterior partiendo del volumen de agua existente en el recipiente colector y el tiempo de apertura de la válvula, se tiene que el caudal está dado por:

Donde  $Q$  es el caudal ( $m^3/s$ ),  $v$  es la velocidad de salida del agua ( $m/s$ ) y  $t$  es el tiempo ( $s$ ).

Asimismo se realizó el cálculo de la presión hidrostática del fluido, para determinar la presión ejercida por el líquido en cualquier punto y altura, debido a que es directamente proporcional al valor de la gravedad ( $g$ ), la densidad del líquido ( $\rho$ ) y de la altura ( $h$ ), la cual se determina de acuerdo a la siguiente fórmula:

Dónde:  $P$  es la presión (pascales),  $\rho$  es la densidad del agua ( $kg/m^3$ ),  $g$  es la gravedad ( $m/s^2$ ) y  $h$  es la altura (metros).

## RESULTADOS

La estructura del simulador consistió en un bastidor de 1 m<sup>2</sup> de lado sujetado por cuatro soportes a 25 centímetros (cm) de altura del suelo. En la parte superior se sujeta el esqueleto del simulador de lluvias, la cual fue construida con tubos de PVC de 13 mm, se utilizó esta medida porque es la más pequeña que hay en el mercado, lo cual nos proporciona mayor presión en el flujo de agua, asimismo, el material es más económico en comparación con otros materiales como el cobre, el bastidor se conecta a través de un tubo de PVC el cual lleva una válvula de control para estabilizar la presión, conectándose a un recipiente de 19 litros el cual abastece de agua a todo el sistema por gravedad (figura 1), los orificios realizados a los tubos de PVC para generar la lluvia tienen un diámetro de 0.8 mm, los cuales se sitúan a distancias de 10 cm entre sí (figura 2).

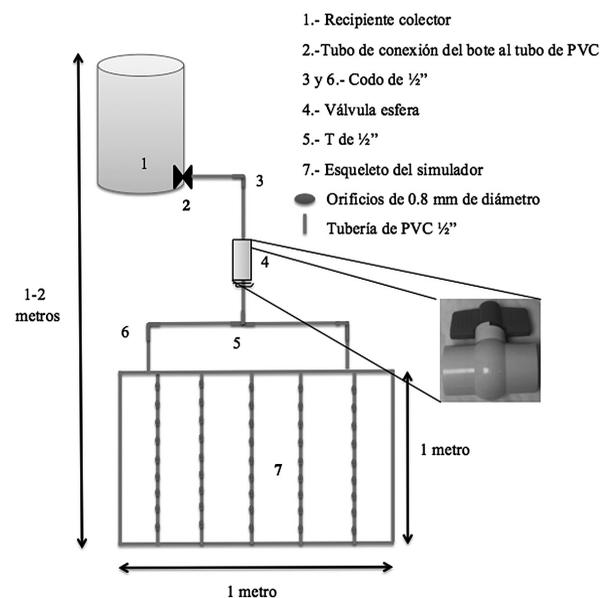


FIGURA 1

Estructura de los componentes del modelo desarrollado.

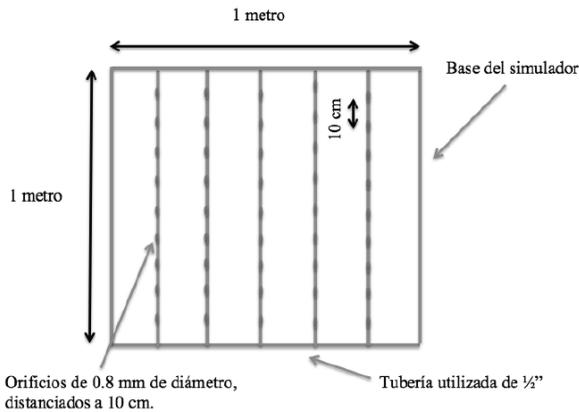


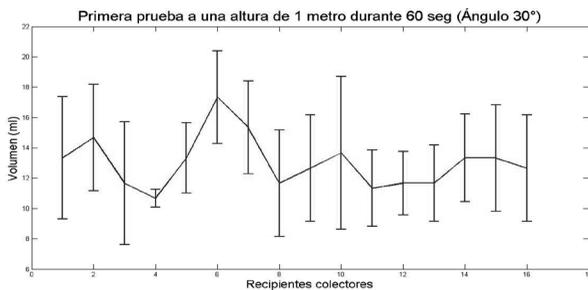
FIGURA 2

Estructura de los componentes del modelo desarrollado.

Figura 2. Base del simulador con orificios de 0.8 mm.

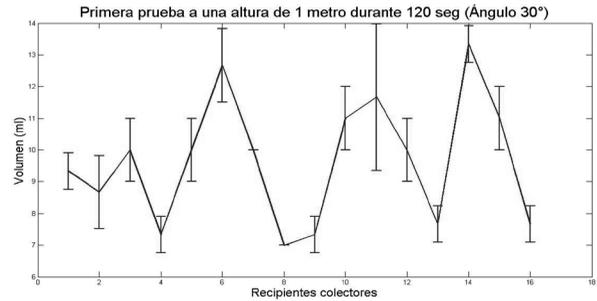
Los resultados obtenidos a partir de cada simulación de lluvia presentan la relación entre la presión y el tiempo, observándose cambios en intensidad en cada uno de los orificios realizados, esto es debido al tipo de control utilizado y además de que es muy difícil abrir la válvula a la misma distancia, así como a la cantidad de carbonato de calcio que el agua contiene y de las impurezas, ocasionando que los orificios se obstruyeran y provocaran variaciones en el flujo del agua.

En las gráficas 1 y 2, se muestra el comportamiento de las precipitaciones simuladas, observándose que, a menor y mayor tiempo de precipitación, no existe uniformidad en el volumen de salida, presentando variaciones del 60% para la gráfica 1 y de 59% para la gráfica 2.



GRÁFICA 1

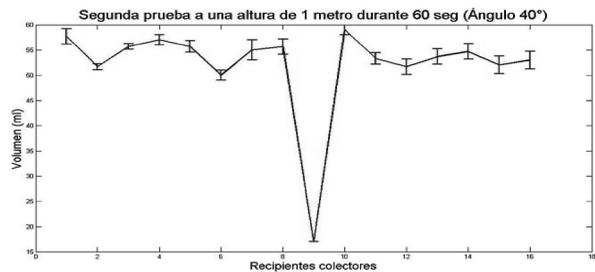
Comportamiento de las precipitaciones simuladas.



GRÁFICA 2

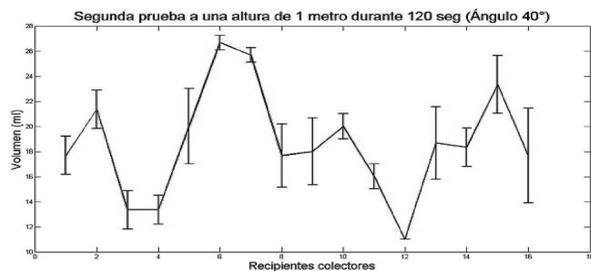
Variación en la homogeneidad de la lluvia simulada.

En la gráfica 3, se puede apreciar la uniformidad en el volumen de agua con excepción del vaso 9 siendo del 36%, para el caso del volumen se observa el doble en comparación con los datos de las gráficas 1 y 2, debido a que la apertura de la válvula fue mayor. En la gráfica 4, el volumen de agua acumulado aumenta en relación con la gráfica 3, mientras que el comportamiento de esta presenta variaciones del 32% debido al tipo de control utilizado y las impurezas mencionadas anteriormente.



GRÁFICA 3

Uniformidad del volumen obtenido a mayor apertura de la válvula.

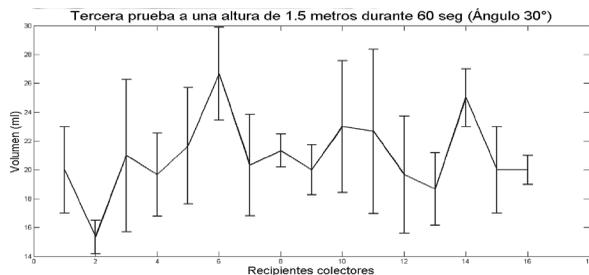


GRÁFICA 4

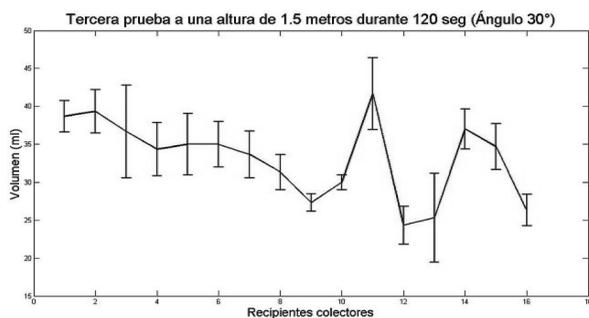
Variación en el comportamiento del volumen acumulado.

En la gráfica 5, se observa nuevamente la disimilitud en el volumen obtenido, lo anterior

debido al aumento en la altura del recipiente colector, presentando variaciones del 50%. Sin embargo, en la gráfica 6, se presenta un comportamiento más homogéneo en relación a la gráfica 2, siendo esta del 48 %.

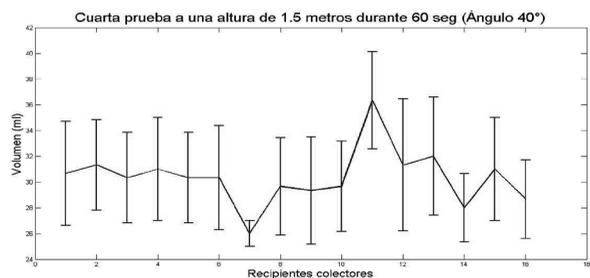


**GRÁFICA 5** Similitud de las precipitaciones simuladas.



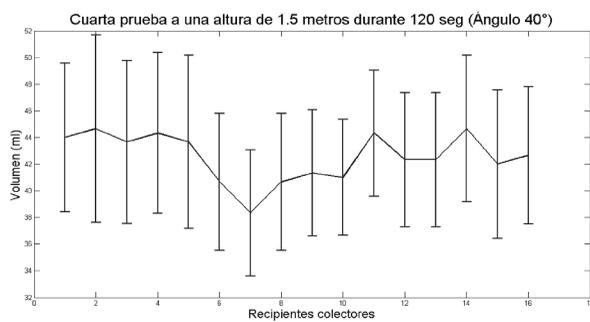
**GRÁFICA 6** Variación en la homogeneidad de la lluvia simulada.

En la gráfica 7 se visualiza de nuevo la disimilitud en el volumen de agua del 37%, incrementándose en comparación con la gráfica 3, producto de la mayor apertura de la válvula además de que existe mayor altura en el recipiente por lo que la presión del flujo del agua es mayor. En la gráfica 8 el volumen de agua se incrementa en relación a la gráfica 4, presentando un rango de error del 40% a causa del control y del extenso tiempo de experimentación ocasionando la sedimentación de las impurezas.



**GRÁFICA 7**

Uniformidad e incremento en el volumen obtenido.



**GRÁFICA 8**

Incremento y variación en el comportamiento del volumen de agua.

## CONCLUSIONES

Las pruebas realizadas para el diseño y construcción del simulador de lluvia han permitido utilizar materiales de bajo costo y fáciles de manipular. El modelo del simulador de lluvia permite generar desde gotas hasta una tormenta el cual admite trabajar con diferentes rangos de intensidad y duración, lo cual se logra mediante manipulación mecánica.

El comportamiento del volumen de agua a diferentes intervalos de tiempo e intensidad, mostraron que no es preciso el control de la intensidad y duración de la lluvia simulado por manipulación mecánica esto debido a que no existe uniformidad en el volumen de agua acumulado.

En general es conveniente realizar más actividades de investigación con el simulador evaluado realizando adaptaciones en su funcionamiento y considerando otras variables como tamaño de la gota, velocidad y energía cinética para lograr incrementar el grado de precisión del equipo. Siendo este una parte esencial para el estudio de erosión, escurrimiento e infiltración, ya que permite obtener datos confiables en poco tiempo.

**LITERATURA CITADA**

- BENITO, E., E. DE BLAS, J.L. SANTIAGO & M.E. VARELA, 2001.** Descripción y puesta a punto de un simulador de lluvia de campo para estudios de escorrentía superficial y erosión del suelo. *Cadernos Laboratorio Xeolóxico de Laxe Coruña*, 26: 211–220.
- FAO, 2015.** *El suelo es un recurso no renovable*. FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/documents/card/es/c/0cd51fed-61de-4780-ba88-234645fac56b/>
- MARTÍNEZ-MENA, M.D., R. ABADÍA, V.M. CASTILLO SÁNCHEZ, & J. ALBALADEJO-MONTORO, 2001.** Diseño experimental mediante lluvia simulada para el estudio de los cambios en la erosión del suelo durante la tormenta. *Revista C. & G.* 15 (1-2): 31–43.
- MONTES-LEÓN, M.A., L., E.M. URIBE-ALCÁNTARA & E. GARCÍA-CELIS, 2011.** Mapa Nacional de Erosión Potencial. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 2 (1): 5–17.
- PÉREZ-NIETO, S., J. ARELLANO-MONTERROSAS, L. IBÁÑEZ-CASTILLO & F. HERNÁNDEZ-SAUCE-DO, 2012.** Estimación de la Erosión Hídrica provocada por el Huracán Stan en las Cuencas Costeras de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 30 (2): 103–110.
- RAMÍREZ-CARBALLO, H., & A. PEDROZA SANDOVAL, 2007.** Evaluación participativa de la degradación del suelo en la reserva de la biosfera de Mapimi, Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 6: 247–254.

