

MICROSIMULADOR DE LLUVIA PARA DETERMINAR PARÁMETROS DE EROSIÓN HÍDRICA EN MICROPARCELA A CAMPO (SALTA, ARGENTINA)

RAIN MICROSIMULATOR TO DETERMINE WATER EROSION PARAMETERS IN FIELD MICROPLOTS (SALTA, ARGENTINA)

Ramírez Liliana¹yFerreira Padilla Silvia E.²

¹Ingeniera en Recursos Naturales y Medio Ambiente, Profesional Adscripta, cátedra Manejo de Cuencas Hidrográficas. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales

²Diplomada en Gestión Integral de Cuencas, Profesora Adjunta Regular cátedra Manejo de Cuencas Hidrográficas. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales.

Dirección de correspondencia: Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Av. Bolivia 5150 (4400) Salta- Argentina.

Correo electrónico:liparamirez@gmail.com

Celular: (+54) 0387 155287635

RESUMEN

Un simulador de lluvias permite evaluar en campo o laboratorio parámetros que influyen en la erosión hídrica: infiltración, escurrimientos superficial sub-superficial y producción de sedimentos en microparcels experimentales a campo, con diferentes coberturas. El simulador de lluvias genera una lluvia simulada de 32,5 litros, 140 mm/h de intensidad en 5,5 minutos. La microparcela de chapa galvanizada presenta dos vertederos, con dos colectores para los volúmenes de escurrimiento superficial y sub-superficial. Se realizaron ensayos con el equipo diseñado por las autoras, en microparcels (60x40x30 cm) con pendiente cero, suelo arcilloso, en 2 condiciones de cobertura vegetal: A con 100 % de cobertura de pastizal de 5-7 cm de altura y B Sin cobertura vegetal. Se observó que en (A) infiltró 51 %, siendo el Escurrimiento superficial (ES) y Coeficiente de Escurrimiento (C) de 28 % y Escurrimiento sub-superficial (ESS) 20,45 %, la producción de sedimentos fue 0,02 gr/l (ES) y 0,08 gr/l (ESS). En (B) se observó que 48 % de la lluvia infiltró, siendo ES y C de 12,5 %, y ESS de 39,5%, los sedimentos producidos fueron 0,56 gr/l (ES) y 0,26 gr/l (ESS). El suelo desnudo tuvo menor infiltración que el suelo con cobertura en 4 %, el Escurrimiento superficial (ES) varió en 15,5 % y ESS en 19,05 %, la producción de sedimentos aumentó 28 veces para ES y 3,25 veces para ESS. Estos resultados pueden ser útiles para evaluar situaciones de disturbios a fin de determinar sitios prioritarios para la restauración ecológica.

PALABRAS CLAVE

Simulador de lluvia, erosión hídrica, sedimentos.

ABSTRACT

A rain simulator allows evaluating in the field or laboratory parameters that influence water erosion: infiltration, surface, subsurface runoff and sediment production in

experimental micro-plots in the field, with different coverages. The rain simulator generates a simulated rain of 32.5 liters, 140 mm / h intensity in 5.5 minutes. The galvanized sheet micro-plot has two landfills, with two collectors for surface and sub-surface runoff volumes. Trials were carried out with the equipment designed by the authors, in micro-plots (60x40x30 cm) with zero slope, clay soil, in 2 conditions of vegetation cover: A with 100% grassland cover 5-7 cm high and B Without coverage vegetable. It was observed that in (A) it infiltrated 51%, being the surface runoff (ES) and runoff coefficient (C) of 28% and sub-surface runoff (ESS) 20.45%, the sediment production was 0.02 gr / l (ES) and 0.08 gr / l (ESS). In (B) it was observed that 48% of the rain infiltrated, being ES and C of 12.5%, and ESS of 39.5%, the sediments produced were 0.56 gr / l (ES) and 0.26 gr / l (ESS). The bare soil had less infiltration than the ground with coverage in 4%, the surface runoff (ES) varied in 15.5% and ESS in 19.05%, the sediment production increased 28 times for ES and 3.25 times for ESS. These results can be useful for assessing disturbance situations to determine priority sites for ecological restoration.

KEY WORDS

Simulator of rain, water erosion, sediments

INTRODUCCIÓN

Los trabajos de investigación con lluvia simulada se inicia en la década del '30 en los EEUU y se han utilizado en determinación de erosión y escurrimiento a campo y en laboratorio (Moldenhauer, 1979). Uno de los procesos hidrológicos de importancia en la modelación de eventos es la infiltración.

Los simuladores de lluvia son instrumentos expeditivos que permiten evaluar en el terreno la infiltración, el escurrimiento, las pérdidas de suelo correspondientes a

lluvias simuladas de lámina total con intensidad y energía conocidas, en distintas condiciones de pendiente, roturación y cobertura de suelo según Irurtia, C. y Mon, R. (1994).

Pla Sentis, L. (1981) y Aokis, A y Serreno, R. (1999) mencionan que permiten realizar estudios sobre las interacciones suelo-lluvia, tanto a campo como en laboratorio. El micro simulador de lluvia tiene la ventaja de reproducir con más fidelidad el fenómeno de la precipitación.

Según Marelli (1989), numerosos autores muestran la importancia del impacto de las gotas en la micro capa superior del suelo en el balance hídrico, además del efecto evidente sobre la erosión superficial. Estos dispositivos son válidos para observar el efecto de las lluvias como generador de costras o sellos superficiales, Slatter, M. y Bryan, R. (1992).

Un simulador de lluvia permite evaluar en campo o en laboratorio volumen o lámina de infiltración, escurrimientos superficial-sub-superficial y producción de sedimentos en microparcels con diferentes coberturas y/o disturbios con una lluvia simulada, Weber, J y Reyna, S (2017); Weber et al (2011); Ramírez, L.P. y Ferreira Padilla, S.E. (2017).

El objetivo de este trabajo fue evaluar parámetros que influyen en la erosión hídrica estos son escurrimiento superficial, escurrimiento sub-superficial, coeficiente de cobertura e infiltración y producción de sedimentos por erosión hídrica de una microparcels con 2 tratamientos de cobertura vegetal: A con 100 % de cobertura de pastizal de 5-7 cm de altura y B sin cobertura de pastizal.

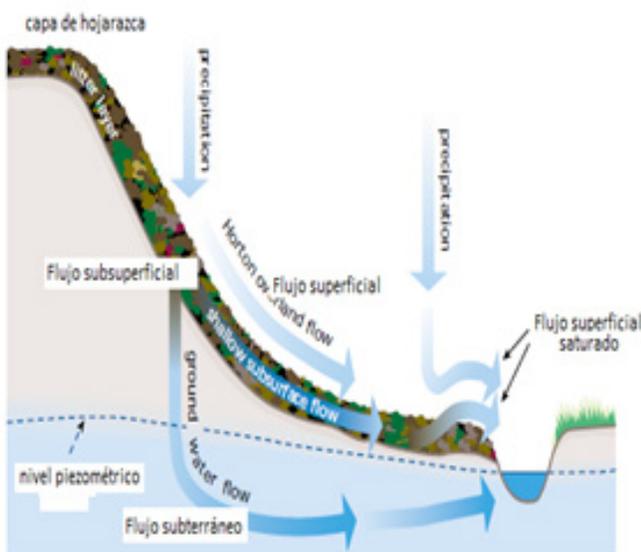


Figura 1. Procesos de escurrimientos. Fuente: FISRWG, 1998 En Ferreira Padilla, 2019.

Escurrimiento o escurrimiento superficial: Es la parte del agua que escurre sobre el suelo como una lámina hasta alcanzar un curso fluvial, después fluye por los cauces de los ríos.

Escurrimiento sub-superficial: Es la parte del agua que se desliza a través de los 5 cm por los horizontes superiores del suelo hacia un curso fluvial, Figura 1.

El Coeficiente de escurrimiento expresa la parte de la lluvia que se transforma en escurrimiento superficial, en porcentaje. Varía entre 0 y 100 %. Siendo 0 cuando toda la lluvia infiltra y 100 % cuando toda la lluvia escurre superficialmente. Es adimensional y permite evaluar la capacidad de escurrimiento/infiltración del suelo en función de la cobertura vegetal, Ferreira. 2019.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ramírez, L. (2018) y Ramírez, L. y Ferreira, S (2017 y 2018) diseñaron y construyeron un simulador de lluvias en material acrílico que consta de un prisma de 35 x 23 x 6 cm con un cilindro adosado de 13 cm de diámetro y 16,5 cm de alto (Figura 2). El equipo presenta 96 generadores de gota de lluvia que tienen una capacidad de 7 litros, con un tanque anexo de 25,5 litros que suministra agua para los ensayos (Figura 4). El equipo simula una lluvia torrencial de 140 mm/h que dura 5,5 minutos, el tamaño de la gota de lluvia es de 4mm generado por los generadores de gota de lluvia, Figura 3

Los ensayos se hicieron en noviembre de 2018 en un pastizal, con pendiente 0, a 1.300 m.s.n.m. de alrededores de la ciudad de Salta



Figura 2. Simulador de lluvia Ramírez & Ferreira



Figura 3. Tamaño de gota que sale del simulador.

Para la calibración y determinación de las características técnicas del Simulador de Lluvias, se realizaron 200 ensayos que se resumen en la Tabla 1

Tabla 1. Especificaciones técnicas del simulador Ramírez & Ferreira

Tamaño de la gota	4 mm
Intensidad	140 mm/ h
Tiempo de simulación de lluvia	5,5 minutos

Tipo de lluvia simulada	Lluvia torrencial
Masa media de la gota simulada	0,05 gr
Velocidad	0,35 m/seg



El tamaño de la gota que da origen a la lluvia simulada es de 4 mm a una altura de 1,64 metros, con una pendiente de 0°.

Figura 4. Equipo completo (soporte, simulador, tanque de almacenamiento de agua, microparcels con vertederos, colectores)

El equipo completo pesa 9,1 kg., tiene la capacidad de tomar mediciones con variables que influyen en parámetros hidrológicos.

La microparcels con pendiente cero fue construida en chapa galvanizada con dos vertederos triangulares, con dos colectores para los volúmenes de agua escurrida superficial como sub-superficial. Ramírez. L.(2018) Las dimensiones de la microparcels son 60 x 40 x 30 cm en, Figuras 4 y 5.

El suelo arcilloso, con 2 tratamientos de cobertura vegetal: A con 100 % de cobertura de pastizal de 5-7 cm de altura y B Sin cobertura vegetal.

En Figura 7 se puede observar el volumen (en litros) del agua almacenada del escurrimiento superficial y escurrimiento sub-superficial, es decir la lámina de agua a los 5 cm de profundidad del suelo.



Figura 4. Microparcels con cobertura de pastizal natural, con 2 colectores.



Figura 5. Microparcels sin cobertura, con sensor de humedad

En cada ensayo se recolectó los volúmenes de ambos escurrimientos para los dos tratamientos. Luego, para determinar los sedimentos generados por erosión hídrica de ambos escurrimientos se filtraron los escurrimientos en los equipos de filtración (Figura 8). El agua de los escurrimientos se filtró con papel de filtro estándar de laboratorio. Se pesaron los papeles de filtro con balanza digital, antes y después de secarlos en estufa (Figuras 6, 7 y 8).



Figura 6. Colecta de escurrimientos superficial y sub-superficial.



Figura 7. Muestras de cada ensayo.

La producción de sedimentos de la microparcela se expresa en gr/l en cada ensayo con diferentes coberturas y disturbios



Figuras 8 y 9. Pesaje del Papel de filtro utilizado para cada ensayo.



Figura 10. Equipos para la filtración del agua de los escurrimientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó que en el tratamiento A (suelo con 100 % de cobertura de pastizal natural de 5-7 cm de altura) infiltró 51 %, siendo el Escurrimiento superficial (ES) de 29 % y Escurrimiento sub-superficial (ESS) 20 %, la producción de sedimentos fue 0,02 gr/l (ES) y 0,08 gr/l (ESS). El coeficiente de escorrentía es de 29% (Tabla 2 y Figuras 6,7 y 9).

En Tabla 2 y Figura 10, se observan los resultados obtenidos en el tratamiento B (suelo sin cobertura): el 48 % de la lluvia infiltró, siendo ES de 12,5 % y ESS de 39,5%, los sedimentos producidos fueron 0,56 gr/l (ES) y 0,26 gr/l (ESS). El coeficiente de escorrentía es de 12,5%.

Tabla 2. Parámetros obtenidos en los dos tratamientos

Parámetros analizados	Tratamiento A	Tratamiento B
Infiltración	51%	48%
Escurrimiento superficial (ES)	29%	12,5%
Coefficiente de Escoorrentía (C)	29%	12,5%
Escurrimiento sub-superficial	20%	39,5%
Sedimentos Escurrimiento superficial	0,02 gr/l	0,56 gr/l
Sedimentos Escurrimientos sub-superficial	0,08 gr/l	0,26 gr/l

Se puede observar que en el tratamiento A: un suelo con 100% cobertura, infiltró 1,06 veces más que en el tratamiento B: suelo sin cobertura. El escurrimiento superficial fue mayor en un suelo con cobertura vegetal en 2,32 veces con respecto a un suelo sin cobertura vegetal, como así también sucede con el Coeficiente de escorrentía. En cuanto al escurrimiento sub-superficial (ESS) fue mayor en un suelo sin cobertura vegetal

en 1,97 veces superior que en un suelo con cobertura (Figuras 7, 11 y 13).

En Tabla 1 y Figura 14 se pudo observar que en el tratamiento B (suelo sin cobertura vegetal) se cuantifico que el sedimento producido es superior 28 veces más que en un suelos con cobertura. También se pudo observar que los sedimentos cuantificados de escurrimiento sub-superficial, los sedimentos producidos fue de 3,25% veces más que en un suelo con cobertura, Figura 12.

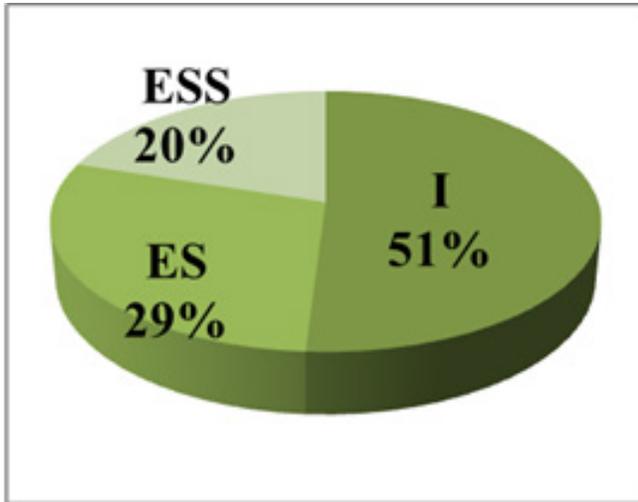


Figura 11. Parámetros analizados en un suelo con cobertura Infiltración (I), Escorrimento superficial (ES) y Escorrimento sub-superficial (ESS).

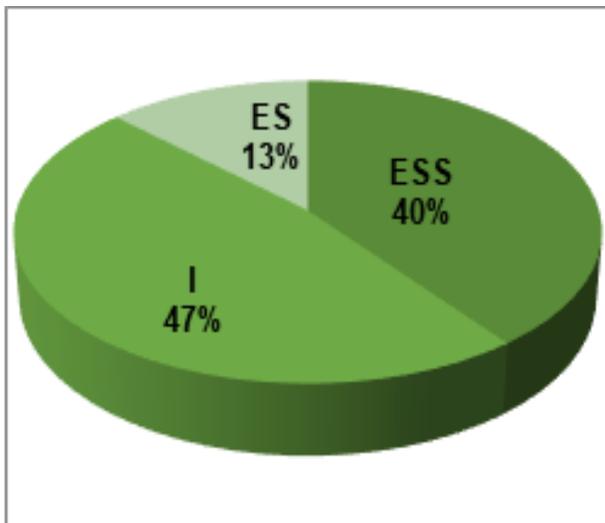


Figura 12. Parámetros analizados en un suelos sin Cobertura Infiltración (I), Escorrimento superficial (ES) y Escorrimento sub-superficial (ESS).

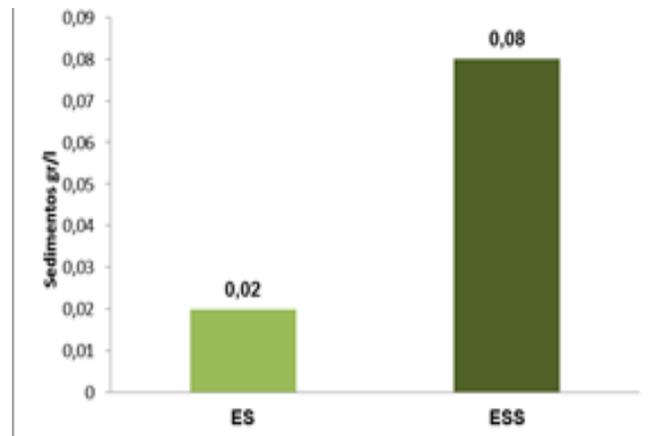


Figura 13. Sedimentos cuantificados del Escorrimento superficial (ES) y sub-superficial (ESS) en un suelo con cobertura expresados en gr/l.

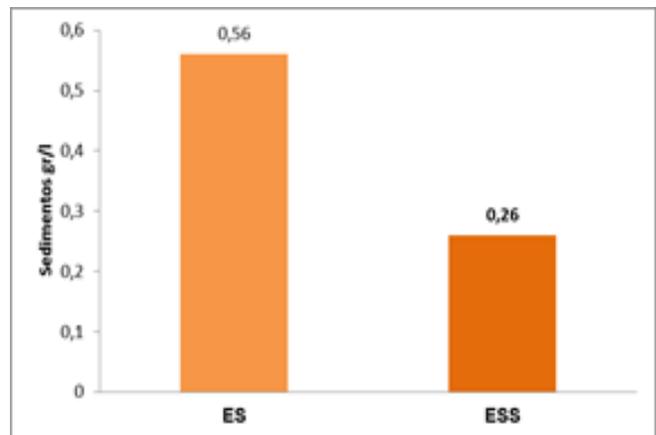


Figura 14. Sedimentos cuantificados del Escorrimento superficial (ES) y sub-superficial (ESS) en un suelo sin cobertura expresada en gr/l.

Con los ensayos a campo realizados logramos obtener un parámetro que es el tiempo-respuesta son distintos tiempos, tanto cuando analizamos los datos del Tratamiento A en lo que se refiere a tiempo inicial y final del escurrimiento superficial. Observamos que también sucede cuando se analiza el tiempo de los escurrimientos sub-superficiales inicial y final. El mismo razonamiento aplicamos para el tratamiento B.

Luego comparamos los tiempos de escurrimiento superficial inicial de ambos tratamiento. También analizamos el tiempo de los escurrimientos final de los tratamientos. Finalmente, analizamos que información obteníamos con los tiempos de escurrimiento sub-superficial inicial y final.

Se observó que en el tratamiento A, al comparar los tiempos de los escurrimientos superficiales, el tiempo del escurrimiento inicial es menor que el tiempo de escurrimiento superficial final, esta variable nos dice cómo reacciona el complejo suelo-cobertura al momento de la producción de lluvia con el dispositivo, Fig 15

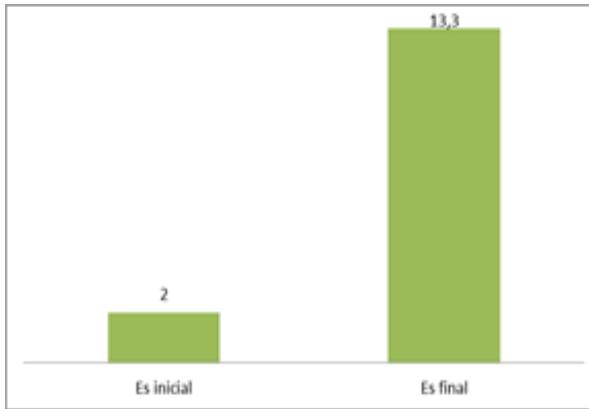


Figura 15. Análisis de los tiempos de Escurrimiento superficial (ES) en minutos.

En figura 16, podemos observar el tiempo de escurrimiento sub-superficial inicial y final. Se estudia el comportamiento de esta variable donde se observa que el tiempo del escurrimiento sub-superficial final es mayor que el tiempo del escurrimiento sub-superficial inicial

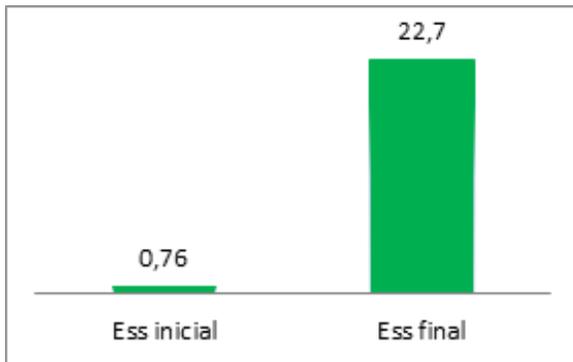


Figura 16. Análisis de los tiempos de Escurrimiento sub-superficial (ESS) expresado en minutos.

Ahora se analiza lo que sucede con los tiempos de escurrimiento superficial y sub-superficial inicial y final. En el tratamiento B se observa que los tiempos de escurrimiento superficial inicial y final, se observa que el tiempo del escurrimiento final es mayor que el inicial Fig.17

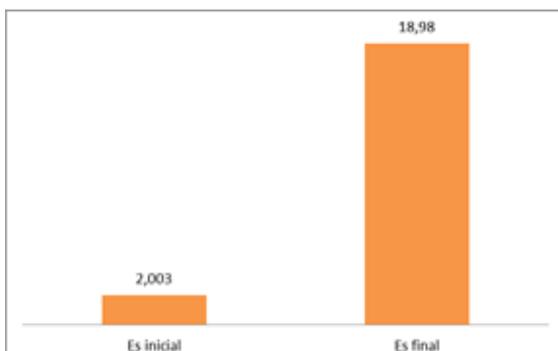


Figura 17. Tiempos cuantificados del Escurrimiento superficial (ES) iniciales y final en un suelo sin cobertura expresados en minutos.

En el tratamiento B se observa que los tiempos de escurrimiento sub-superficial inicial y final, se observa que el tiempo del escurrimiento inicial es menor que el final Fig.18

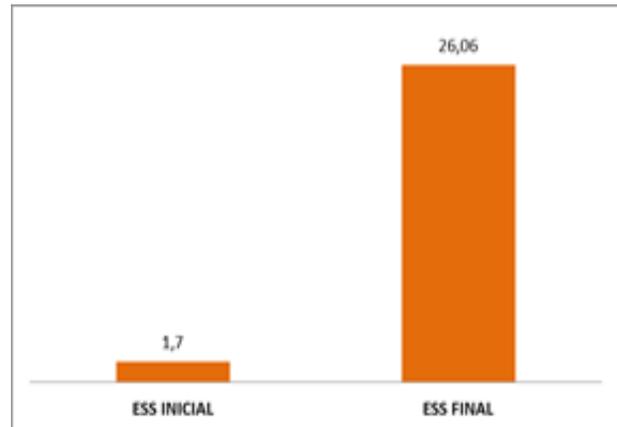


Figura 18. Tiempo cuantificado del Escurrimiento sub-superficial (ESS) inicial y final en un suelo sin cobertura expresado en minutos.

Al comparar el tiempo inicial de Escurrimiento superficial, en el Tratamiento A y B, se puede observar que en un suelo con cobertura el tiempo de escurrimiento superficial es menor que en el suelo desnudo Fig 19

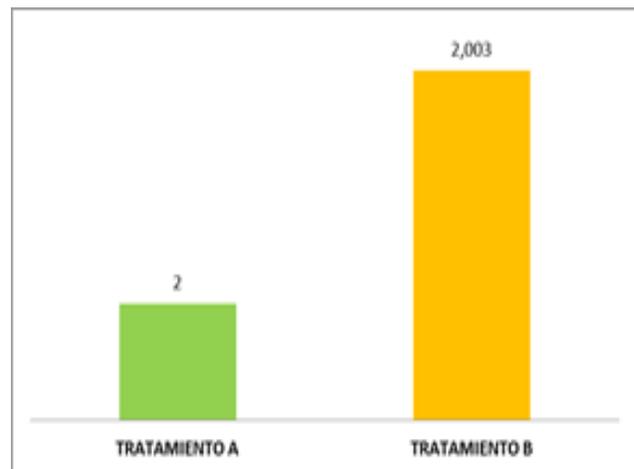


Figura 19. Comparación de los tiempo de escurrimiento (ES) iniciales en ambos tratamientos

Al comparar el tiempo final del escurrimiento superficial inicial, en los tratamientos A y B. En ambos tratamientos se puede observar que finaliza antes el escurrimiento en un suelo con cobertura a los 13,3 minutos que en un suelo sin cobertura que tarda 18,98 minutos Fig 20

En Figura 21 se observa el tiempo inicial de los escurrimientos sub-superficiales, se observa que en un suelo sin cobertura tarda 1,7 minutos mientras que un suelo con cobertura es de 0,76 minutos. Se observa una diferencia de tiempo de 0,94 minutos

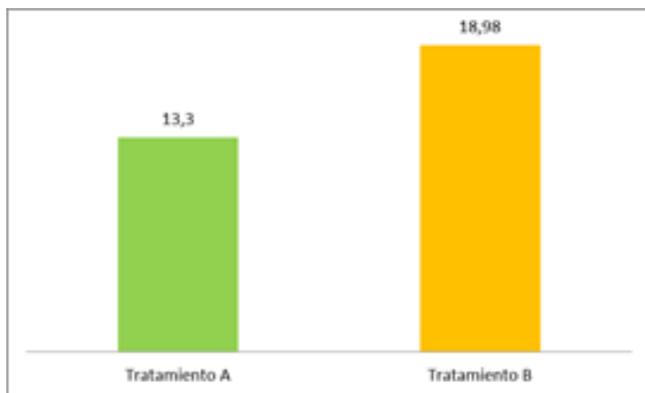


Figura 20. Comparación de los tiempo de escurrimiento (ES) iniciales en ambos tratamientos

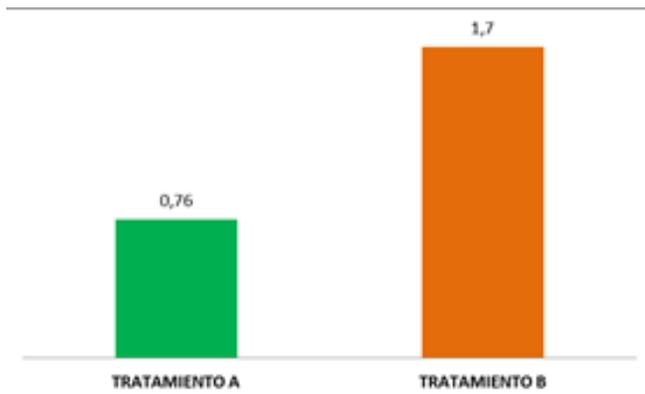


Figura 21. Comparación de los tiempo de escurrimiento (ESS) iniciales en ambos tratamientos

A continuación se analizan los tiempos finales del escurrimiento sub-superficial en ambos tratamientos Fig 22

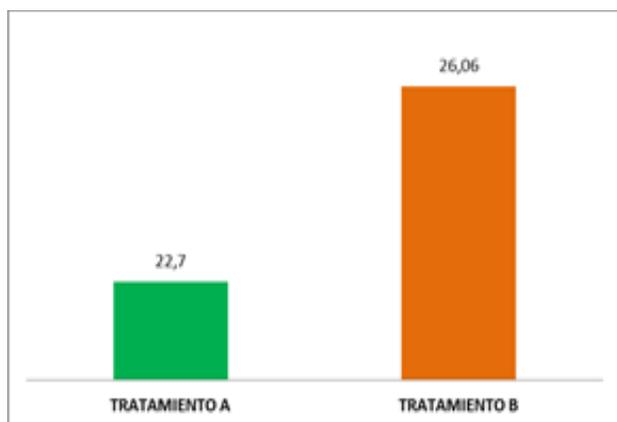


Figura 22. Comparación de los tiempo de escurrimiento (ES) finales en ambos tratamientos

En la figura 22 se puede observar que el tiempo de escurrimiento sub-superficial en un suelo con cobertura es menor con 22,7 minutos mientras que en un suelo sin cobertura se puede observar que es mayor obteniendo un tiempo de 26,06 minutos. Se puede observar que la diferencia entre ambos es de 3,36 minutos

CONCLUSIONES

Con estos ensayos se puede determinar los parámetros que influyen en la erosión hídrica, y se comparó como varían frente a un disturbio ocasionado en condiciones reales del terreno.

Se pudo determinar los sedimentos en gr/l transportados en la microparcela con pendiente cero. Este valor es útil para los estudios de erosión de suelos.

A partir de la información recopilada in situ durante la campaña de noviembre de 2018 realizada en la ciudad de Salta, ha sido posible obtener distintos parámetros de importancia para el análisis de erosión hídrica. Este microsimulador de lluvia portátil cubre el rango de lluvias intensas, adecuado para el estudio in situ de procesos hidrológicos de escala puntual.

Se realizaron dos tratamientos A: suelo con 100% cobertura y B: suelo sin cobertura. Se pudo observar que el tratamiento con suelo desnudo tuvo menor infiltración que el suelo con cobertura en 3 %, es decir un suelo con cobertura vegetal infiltra 1,06 veces más que un suelo sin cobertura. El Escurrimiento superficial varió en 16,5 %, es decir que en el tratamiento A escurrió 2,32 veces más que en el tratamiento B. En cuanto el Escurrimiento sub-superficial en un suelo sin cobertura fue de 19,05 más que en un suelo sin cobertura es decir que un suelo sin cobertura escurre 1,97 veces más que en un suelo con cobertura.

La producción de sedimentos de Escurrimiento superficial fue superior en un suelo sin cobertura en 28 veces más, como así también se observa que el Escurrimiento sub-superficial en un suelo sin cobertura es de 3,25 veces más que en un suelo con cobertura.

Al analizar los tiempos de escurrimiento superficial en un suelo con cobertura se puede observar que la diferencia entre el tiempo inicial y final es de 11,3 minutos, esto quiere decir que el escurrimiento final es mayor en 6,65 veces más que el tiempo de escurrimiento inicial.

Analizando los tiempos de escurrimiento sub-superficial en un suelo sin cobertura se puede observar que entre el tiempo inicial y final es de 21,94 minutos de diferencias, esto quiere decir que el escurrimiento final es mayor en 5,26 veces

Al analizar los tiempos de escurrimiento superficial en un suelo sin cobertura se puede observar la diferencia de tiempo que hay entre el tiempo inicial y final es de 16,97 minutos, esto quiere decir que el escurrimiento

final es mayor en 9,47 veces.

Analizando los tiempos de escurrimiento sub-superficial en un suelo sin cobertura se puede observar que la diferencia entre el tiempo inicial y final es de 24,36 minutos de diferencias, esto quiere decir que el escurrimiento final es mayor en 15,32 veces.

Se observa que el tiempo de escurrimiento superficial en un suelo sin cobertura es mayor en 1,42 veces más que en un suelo con cobertura.

Se observan los tiempos de escurrimientos superficiales entre los dos tratamientos, se puede observar que la diferencia entre los tiempos de escurrimiento superficiales inicial y final es 0,003 minutos, mientras que el tiempo de los escurrimientos finales entre ambos tratamientos hay una diferencia de 5,68 minutos, siendo mayor en un suelo sin cobertura.

Se observan los tiempos de escurrimientos sub-superficial entre los dos tratamientos, se puede analizar que la diferencia entre los tiempos de escurrimiento sub-superficiales entre final e inicial es de 0,94 minutos siendo mayor en un suelo desnudo. Mientras que el tiempo de los escurrimientos finales hay una diferencia de 5,68 minutos, siendo mayor en un suelo sin cobertura.

Analizando los tiempos de escurrimiento superficial y sub-superficial en un suelo desnudo se puede observar que fueron superiores los resultados que en un suelo con cobertura. En este caso se observa la interacción que existe entre el complejo cobertura-suelo.

Este conjunto de parámetros pueden ser de importancia para los proyectistas vinculados a evaluar situaciones de disturbios a fin de determinar sitios prioritarios para la restauración ecológica

Este equipo diseñado por las autoras resulta práctico y liviano para transportar y puede utilizarse para realizar ensayos a campo con diversas coberturas y disturbios (cambios del uso del suelo, sobrepastoreo, senderismo, fuego variaciones de fertilizantes aplicados al suelo, etc.). Es fácil de ensamblar las piezas del soporte. Se puede utilizar tanques con mayor almacenamiento para generar lluvias más prolongadas. Con 100 litros de agua se puede simular una lluvia de 20 minutos, con un tanque de 40 litros, la lluvia es de 8 minutos.

En el presente trabajo se evaluó para lluvias de 5,5 minutos y 32,5 litros de agua. La variación de volumen de agua suministrada dependerá de la textura de suelo, siendo mayor en suelos sueltos y arenosos. Con la microparcela diseñada permite evaluar también el escurrimiento sub-superficial, siendo este un aporte de este

trabajo. Este equipo es ideal para aplicar en ensayos de parcelas de cultivos y en pastizales naturales con distintos tratamientos y medir los efectos de la erosión hídrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aoki, A. M. y R. Sereno, (1999). Modificaciones de un microsimulador de lluvias. Investigación agrícola (Chile) 19:47-51

Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG).(1998). Stream Corridor Restoration.Principles, Processes and Practices. USA.

Irurtia, C. B. y R. Mon (1994). Microsimulador de lluvia para determinar infiltración a campo. Publicación N° 176:1- 18. Instituto de suelos INTA-Castelar. Buenos Aires, Argentina.

Marelli, H. J. (1989). La erosión hídrica. Proyecto: alternativas mejoradas conservacionistas de producción agrícola ganadera en el sur de Córdoba. Publicación técnica 1. Córdoba, Argentina: INTA, Estación Experimental Agropecuaria Marco Juárez

Moldenhauer W.C. 1979. Rainfall simulation as a research tool.Proceedings of the rainfall simulator workshop.Tucson Arizona EEUU.

Pla Sentis, I. (1981). Simuladores de lluvia para el estudio de relaciones suelo-agua bajo agricultura de secano en los trópicos. Rev. Fac. Agron. (Maracay) 12:81-93.

Ramírez, L. P. (2018). Construcción de un simulador de lluvias para la estimación de infiltración, escorrentía y sedimentos en microparcelas. Tesina de grado. Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Salta.

Ramírez, L.P. y S. Ferreira Padilla. (2017). Construcción de un simulador de lluvias para la estimación de infiltración, escorrentía y sedimentos en microparcelas en campo/laboratorio. VIII Jornadas de Ciencias Naturales, VI Jornadas de la Enseñanza de las Ciencias Naturales y II Jornadas de Unidad Integrada INTA-UNSa. Facultad de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Salta. Salta, 8-10 noviembre de 2017.

Slatter, M. C. y R. B. Bryan (1992). Laboratory experiments on surface seal development and its effects on interrill erosion processes. J. SoilSci. 43: 517-529.

Weber, J. F. y Reyna, S. M. (2017). "Mediciones preliminares en laboratorio del impacto del fuego en la capacidad de infiltración". V Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica - MEH17. 7, 8 y 9 de junio

de 2017. Buenos Aires, Argentina.

Weber, J. F., Apestegui, L., Balazar, E. (2011) "Medición de la capacidad de infiltración in situ de suelos de la ciudad de Córdoba mediante un microsimulador de lluvia portátil". XXIII Congreso Nacional del Agua - CO-NAGUA 2011, Resistencia. pp. 235-254.