

# Evaluación de la erosión de un Inceptisol de Tunja con diferentes coberturas al impacto de lluvias simuladas

## Evaluating erosion in an Inceptisol (soil) in Tunja (Boyacá department, Colombia) having different coverage regarding the impact of simulated rainfall

Javier Giovanni Álvarez-Herrera<sup>1</sup> y Juan Pablo Fernández Rodríguez<sup>2</sup>

### RESUMEN

Los alrededores de la ciudad de Tunja presentan condiciones climáticas heterogéneas y adversas que posibilitan el proceso de erosión. La poca presencia de cubierta vegetal no disminuye el impacto de las lluvias y favorece fenómenos como la escorrentía. Este estudio tuvo como objetivo analizar diferentes coberturas, intensidades y duraciones de lluvia mediante simulación. Se realizó un diseño experimental de cuadrado latino de 3 x 3, con 3 intensidades de lluvia (10, 20 y 30 mm·h<sup>-1</sup>), 3 duraciones de lluvia (1, 2 y 3 horas), y 3 tipos de cobertura de suelo (kikuyo, cobertura natural, descubierto), cada cuadrado latino con 3 repeticiones, para un total de 27 unidades experimentales. Se presentaron diferencias significativas entre las intensidades de lluvia evaluadas, la intensidad de 30 mm·h<sup>-1</sup> de lluvia generó 2.218,6 kg·ha<sup>-1</sup> de suelo perdido por escorrentía. La cubierta vegetal que presentó la menor pérdida de suelo y la mayor infiltración fue la cobertura de kikuyo, con valores de 1.019,1 kg·ha<sup>-1</sup> de suelo perdido por escorrentía y 0,88 cm de infiltración acumulada. Las duraciones de lluvia no afectaron la pérdida de suelo por escorrentía e infiltración. El patrón anual de lluvias de Tunja mostró que el año 2006 presentó la mayor pérdida de suelo, con 46.663 kg·ha<sup>-1</sup> para el suelo descubierto, lo que implica que se deben tomar acciones correctivas rápidamente, mediante la implementación de coberturas vegetales que atenúen el efecto de la precipitación sobre el suelo a libre exposición con el fin de disminuir la pérdida del recurso.

**Palabras clave:** pérdida de suelo, simulador, precipitación, escorrentía, infiltración.

### ABSTRACT

The area surrounding the city of Tunja in the Boyacá department has a heterogeneous climate and adverse conditions facilitating erosion. Scarce vegetation cover does little to reduce the impact of the rain and increases run-off. This study was aimed at analysing different types of rainfall coverage, intensity and duration by simulation. A experimental 3x3 Latin square design was used, with 3 rainfall intensities (10, 20 and 30 mm·h<sup>-1</sup>), 3 rainfall durations (1, 2 and 3 hours) and 3 types of soil coverage (kikuyo, natural coverage, bare). Each Latin square had 3 repetitions, giving a total of 27 experimental units. Significant differences were found between rainfall intensities evaluated; 30 mm·h<sup>-1</sup> rainfall intensity generated 2,218.6 kg·ha<sup>-1</sup> of soil loss caused by run-off. Kikuyo coverage was the vegetal cover presenting the least soil loss and greatest infiltration (1,019.1 kg·ha<sup>-1</sup> soil loss by run-off and 0.88 cm accumulated infiltration). Rainfall duration did not affect soil loss due to run-off and infiltration. Tunja's annual rainfall pattern showed that 2006 presented the greatest soil loss (46,663 kg·ha<sup>-1</sup> for bare soil). This meant that corrective action must be taken quickly by implementing vegetal cover to mitigate the effects of rainfall on exposed soil to reduce the loss of such valuable resource.

**Keywords:** soil loss, simulator, rainfall, runoff, infiltration.

**Recibido:** noviembre 10 de 2008

**Aceptado:** octubre 28 de 2009

### Introducción

Las condiciones climáticas de la ciudad de Tunja son bastante irregulares, por lo que los suelos de esta zona presentan una fuerte tendencia a la erosión, ya que las lluvias que caen durante el año son muy intensas (Castro, 1998). Las relaciones entre la intensidad y la duración de las precipitaciones o lluvias, con relación a la escorrentía y la erosión, han sido típicamente obtenidas a partir de experimentos con lluvia natural (Ekern, 1954), o con experimentos

simulados utilizando precipitaciones (Meyer, 1988), que han permitido conocer las interacciones suelo-lluvia.

Los principales factores a tener en cuenta en las simulaciones experimentales de precipitaciones son: la zona, la intensidad y la duración de las lluvias (Stomph *et al.*, 2002). La intensidad y la duración de la lluvia simulada se deben basar en las características meteorológicas del área de estudio con el fin de predecir su potencial erosivo así mismo, la susceptibilidad de los suelos a la generación de escorrentía y erosión es una propiedad dinámica que se ve a-

<sup>1</sup> Ingeniero agrícola y M.Sc., en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia. Profesor Asistente, Grupo de Investigaciones Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. jgalvarezh@gmail.com

<sup>2</sup> Ingeniero Agrónomo, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Estudiante M.Sc., en Ciencias Agrarias con Énfasis en Suelos y Aguas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C. jpfero@gmail.com

fectada por los cambios que se producen en el suelo durante una tormenta (Martínez-Mena *et al.*, 2001).

Los sucesos extremos de lluvia, de elevada magnitud pero baja frecuencia, juegan un papel determinante en la dinámica de la erosión del suelo, lo cual significa que la erosión se concentra en el tiempo (González-Hidalgo, 1996; Meyer *et al.*, 2001). Además, en una lluvia de duración prolongada la infiltración unitaria va decreciendo con el tiempo, para finalmente estabilizarse y mantenerse constante (Scott y Houston, 1959).

La cubierta vegetal del suelo que lo protege contra la energía de la lluvia o la escorrentía de superficie influye considerablemente en la erosión (Nicolau *et al.*, 2002). Muchos estudios han demostrado que la relación no es lineal, produciéndose incluso una reducción sustancial de la erosión cuando el suelo está protegido por una cubierta vegetal de densidad relativamente pequeña. La desaparición de la vegetación incrementa de manera considerable la erosión (De Luis *et al.*, 2003).

De aquí se conceptualiza la importancia de estudiar todas las interacciones entre el suelo, la cubierta vegetal y la lluvia y la modificación de las propiedades del suelo por efecto de ésta, las cuales determinan aspectos fundamentales que se relacionan con las pérdidas de suelo, lámina y volumen de escurrimiento, tiempo de concentración, tiempo de inicio de escurrimiento y producción de sedimentos (Martínez-Mena *et al.*, 2001).

Debido a lo anterior, se hace conveniente evaluar el grado de erosión de un Inceptisol de Tunja con diferentes coberturas, sometido al impacto de lluvias simuladas, con el fin de cuantificar de una manera exploratoria la pérdida de suelo y así conocer el efecto que tienen la intensidad y la duración de las precipitaciones sobre el suelo.

## Metodología

### Localización geográfica

Las muestras de suelo fueron tomadas en zonas con problemas de erosión circundantes a la ciudad de Tunja, localizadas a los 5°13' de latitud norte, y 73°35' de longitud oeste, a una altura de 2.690 msnm, con una temperatura promedio de 12 a 14 °C, una precipitación promedio de 750 mm/año, y una humedad relativa del 70 % al 80%.

El suelo muestreado se llevó al Centro de Estudios GMBC (Grupo Manejo Biológico de Cultivos – Edificio Posgrados de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UPTC), en donde estaba instalado el simulador de lluvia con el cual se realizaron las pruebas.

### Muestreo

Para las muestras se tomaron cortes de 40 cm de ancho x 40 cm de largo x 40 cm de profundidad. A cada corte se le determinó la pendiente en campo, la cual fue para todos los casos del 3%. Luego se transportaron los cortes en canastillas para evitar su alteración física y mantener las muestras sin disturbar. Éstas se colocaron en la bandeja del simulador, que posee una saliente en su parte frontal de 7 cm, con un grado de inclinación de 45°, la cual permite la recolección del agua de escorrentía; también tiene una lámina en forma de tamiz o malla en su parte inferior, que impidió la pérdida de suelo de cada muestra por efecto de la gravedad, y un embudo cuadrado que favoreció la recolección del agua de infiltración.

## Diseño experimental

Se efectuó un diseño experimental de cuadrado latino de 3 x 3, en el cual se tuvieron 3 intensidades de lluvia (10, 20 y 30 mm·h<sup>-1</sup>), 3 duraciones de lluvia (1, 2 y 3 horas) y 3 tipos de cobertura del suelo (kikuyo, cobertura natural, suelo descubierto), para un total de 9 unidades experimentales (UE); cada cuadrado latino se repitió 3 veces, por lo cual el total de unidades experimentales fue de 27.

## VARIABLES DE RESPUESTA

Se determinó la ecuación de infiltración acumulada, la infiltración acumulada, la infiltración básica, la velocidad de infiltración a los 5, 10, 15 minutos y al final de cada duración de precipitación, la escorrentía y la pérdida de suelo.

## ANÁLISIS DE DATOS

Se realizó un análisis de varianza (Anova) para observar las diferencias entre las intensidades, las duraciones de lluvia y los tipos de cobertura del suelo. De igual forma, se hicieron pruebas de Tukey al 5% para determinar los mejores tratamientos e interacciones.

## Resultados y discusión

### Infiltración

La cantidad de agua infiltrada para los tiempos 5 y 10 minutos produjo diferencias significativas bajo el efecto de las distintas coberturas; la cobertura con mayor infiltración fue el suelo descubierto, presentando promedios de 0,14 y 0,46 mm·ha<sup>-1</sup>, la cobertura natural con valores de 0,09 y 0,28 mm·ha<sup>-1</sup>, y el suelo con kikuyo con tasas de 0,08 y 0,30 mm·ha<sup>-1</sup> respectivamente. Estas dos últimas no exhibieron variación estadística entre ellas (Figura 1).

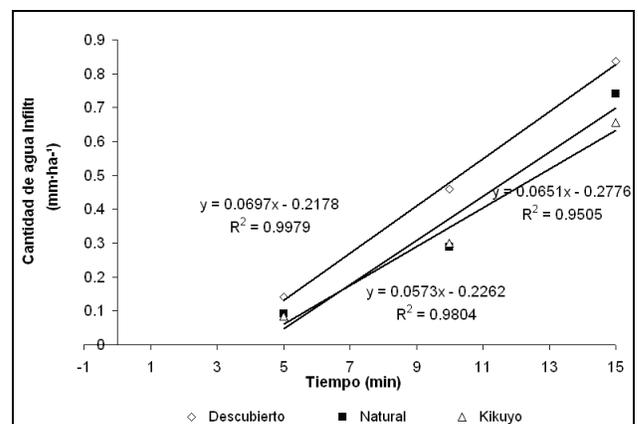


Figura 1. Cantidad de agua infiltrada al cabo de los tiempos 5, 10 y 15 minutos de las pruebas en un Inceptisol de Tunja sometido al impacto de lluvias simuladas en relación con las coberturas de suelo analizadas.

La cobertura con kikuyo para el tiempo 5 minutos fue la de mejor comportamiento, mientras que para el tiempo 10 minutos la cobertura natural fue la mejor para el tiempo 10 minutos, lo cual es evidencia de un efecto similar entre estas coberturas. Eso se debe a que la cubierta vegetal del suelo ayuda a la retención del agua y atenúa el impacto de las gotas de lluvia, ocasionando así una menor infiltración por parte del agua dentro del perfil.

La cantidad de agua infiltrada a los 15 minutos presentó diferencias significativas entre las coberturas. La mayor infiltración se halló en el suelo descubierto, con un valor de 0,83 mm·ha<sup>-1</sup>, y las coberturas con menor infiltración fueron la natural y el kikuyo, con valores de 0,74 mm·ha<sup>-1</sup> y 0,65 mm·ha<sup>-1</sup> respectivamente.

De acuerdo con la prueba de Tukey, el suelo descubierto tuvo diferencias con la cobertura de kikuyo, pero no ocurre lo mismo al relacionarlas con la cobertura natural; se observó una menor infiltración en la cobertura de kikuyo (Figura 1). De ahí se infiere que, a medida que el tiempo transcurre, la cantidad de agua que se infiltra se va estabilizando hasta el punto de mantenerse constante, lo cual describe que el proceso de infiltración va decreciendo con el tiempo (Scott y Houston, 1959).

Al analizar la infiltración en los tiempos 5, 10 y 15 minutos, se apreciaron diferencias significativas para todas las intensidades de lluvia simuladas (Figura 2). Los valores arrojados por el Anova para las intensidades 10, 20 y 30 mm·h<sup>-1</sup> fueron de 0,02 mm·ha<sup>-1</sup>, 0,09 mm·ha<sup>-1</sup> y 0,19 mm·ha<sup>-1</sup>, respectivamente, con relación a la infiltración en el tiempo 5 minutos. Para el tiempo 10 minutos las tasas fueron 0,10, 0,31 y 0,62 mm·ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Al cabo de 15 minutos, los promedios obtenidos fueron 0,27, 0,68 y 1,27 mm·ha<sup>-1</sup>. Esta diferencia entre promedios ocurre porque una mayor intensidad en las lluvias ocasiona un aumento en la cantidad de agua infiltrada en el suelo. Estudios similares confirman que la intensidad de las precipitaciones desempeña un papel vital en la infiltración. Además, la disminución en la frecuencia combinada con una baja intensidad puede dar lugar a una mayor infiltración (Jiao *et al.*, 1999; De Lima *et al.*, 2003).

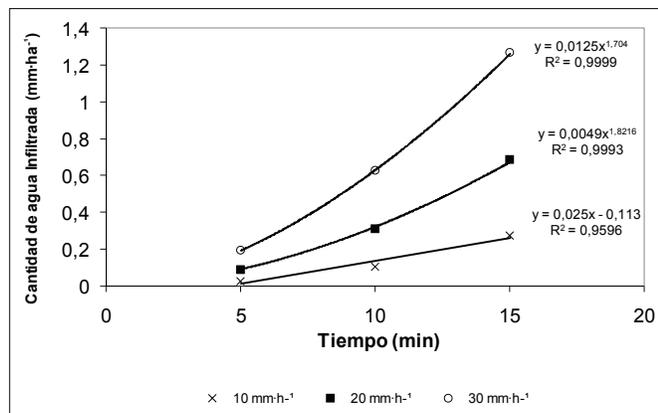


Figura 2. Cantidad de agua infiltrada al cabo de los tiempos 5, 10 y 15 minutos de las pruebas en un Inceptisol de Tunja sometido al impacto de lluvias simuladas en relación con intensidades de lluvia analizadas.

### Infiltración acumulada

La figura 3 describe para las coberturas, la ecuación de infiltración acumulada (I), la ecuación de velocidad de infiltración (i) y el valor del coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), para cada una de las intensidades de lluvia. Cabe destacar que los valores obtenidos evidencian una tendencia logarítmica en cada una de las intensidades de lluvia, resultado del proceso de acumulación de agua en el suelo a través del tiempo.

Para el Inceptisol estudiado, la cobertura de kikuyo arrojó las mayores láminas de agua infiltrada (Figura 3), a los 180 minutos, con valores de 0,21, 0,53 y 0,88 cm, para las intensidades de 10, 20 y 30 mm·h<sup>-1</sup> respectivamente. La cobertura natural tuvo valores de 0,17, 0,46 y 0,70 cm de agua infiltrada, mientras que el suelo descubierto presentó la menor tasa de infiltración acumulada, con valores de 0,23, 0,39 y 0,57 cm, en relación con las intensidades analizadas.

### Velocidad de infiltración e infiltración básica

La velocidad de infiltración varió significativamente con las intensidades de lluvia aplicadas. No se evidenció una diferencia notable entre las coberturas del suelo. El suelo con kikuyo presentó velocidades iniciales de 0,01, 0,03 y 0,05 cm·min<sup>-1</sup> (Figura 4). Para la cobertura natural se dieron valores de 0,01, 0,02 y 0,04 cm·min<sup>-1</sup>. En el caso del suelo descubierto o desnudo, los valores obtenidos son de 0,01, 0,02 y 0,03 cm·min<sup>-1</sup>. Estas tasas se establecieron en las intensidades de 10, 20 y 30 mm·h<sup>-1</sup> respectivamente.

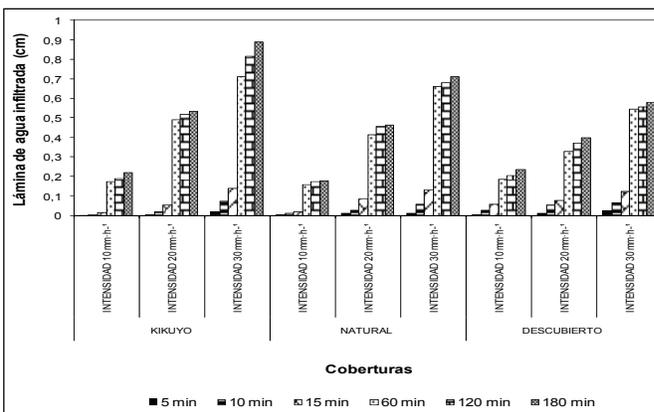


Figura 3. Infiltración acumulada para un Inceptisol de Tunja sometido al impacto de lluvias simuladas en relación con las coberturas e intensidades de lluvia analizadas.

A medida que transcurre la lluvia, la velocidad de infiltración se hace constante, valor que equivale a la infiltración básica, indicando que la velocidad de infiltración es decreciente en el tiempo, al punto de estabilizarse (Kinderknecht *et al.*, 2004).

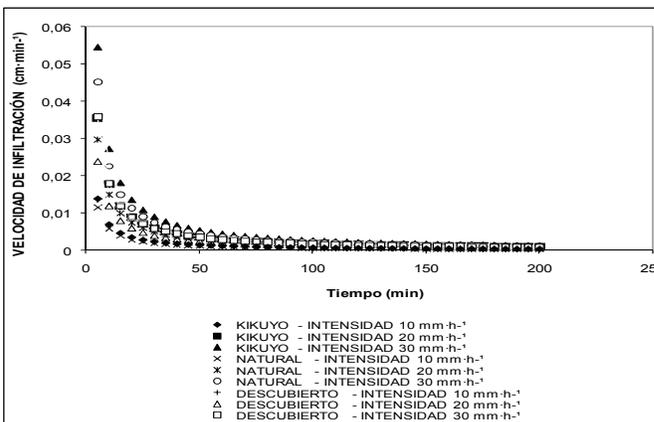


Figura 4. Velocidad de infiltración para un Inceptisol de Tunja sometido al impacto de lluvias simuladas en relación con las coberturas e intensidades de lluvia analizadas.

### Pérdida de suelo por escorrentía (kg·ha<sup>-1</sup>)

La cantidad de suelo arrastrada por el agua de escorrentía presentó diferencias significativas para coberturas e intensidades de lluvia (Figura 5a) pero no para las duraciones. Sin embargo, el suelo descubierto permitió el mayor arrastre de sedimentos (1.839,2 kg·ha<sup>-1</sup>), ya que no presenta protección al impacto de las gotas de lluvia, lo cual ocasiona un desprendimiento mayor de la capa superficial del suelo.

La cobertura natural tuvo un promedio de 1.170,1 kg·ha<sup>-1</sup> de suelo perdido, mientras que para la cobertura de kikuyo el promedio fue de 1.019,1 kg·ha<sup>-1</sup>. La cobertura de kikuyo favoreció una menor pérdida de suelo por escorrentía; cabe resaltar que incluso con una ligera pérdida de suelo y una alta frecuencia de precipitaciones, el escurrimiento superficial es de gran magnitud (Márquez et al., 2007).

El kikuyo permitió una menor pérdida de suelo, seguido por la cobertura natural. Las raíces de esta cubierta vegetal contribuyen a dar fuerza (Li et al., 1991), estabilidad estructural (Márquez et al., 2003), favorecer la infiltración del agua (Wu et al., 2000; Joseph et al., 2003) y a mantener la estabilidad de agregados del suelo (Martens, 2002); por tanto, es un factor clave en el control de la erosión hídrica de los suelos.

Para las intensidades de lluvia se encontraron diferencias significativas. La intensidad de 30 mm·h<sup>-1</sup> arrojó las mayores pérdidas de suelo por escorrentía, con un valor de 2.218,6 kg·ha<sup>-1</sup>, mientras que la intensidad 10 mm·h<sup>-1</sup> obtuvo un valor de 626 kg·ha<sup>-1</sup>, la que presentó menor cantidad de suelo arrastrado, seguida de la intensidad de 20 mm·h<sup>-1</sup>, que obtuvo un valor de 1.183,8 kg·ha<sup>-1</sup> (Figura 5b), lo que coincide con Flanagan et al. (1987), quienes encontraron que en los patrones de lluvia había efectos significativos sobre la escorrentía, la pérdida total de suelo y la distribución de las partículas.

Por otra parte, la duplicación de la intensidad y la duración de las lluvias naturales con un simulador es un método para reproducir la erosividad de las tormentas naturales. Sin embargo, no es muy práctico y hace caso omiso de diferencias importantes entre las lluvias naturales y las simuladas, además de modificar propiedades en la erosividad tales como el tamaño de las gotas, la distribución y las velocidades de caída de la lluvia (Peterson y Bubbenzer, 1986).

**Pérdida de suelo por infiltración (kg·ha<sup>-1</sup>)**

De acuerdo con la Figura 5a, la pérdida de suelo por infiltración fue mayor en el suelo desnudo, con un valor de 953,47 kg·ha<sup>-1</sup>, seguido de la cobertura natural con 526,74 kg·ha<sup>-1</sup>, y posteriormente, la cobertura de kikuyo, con 168,13 kg·ha<sup>-1</sup>, presentando diferencias significativas entre sí. El suelo con cobertura natural permitió que el agua se infiltrara en mayor grado, al igual que una mayor traslocación; no obstante, el kikuyo, gracias a su abundante sistema radicular y robusto follaje, hizo que se infiltrara más cantidad de agua, con la diferencia de que no permitió mayor desprendimiento de suelo. La capacidad de infiltración del suelo es una función de la textura y la estructura del suelo, además de la distribución de la humedad dentro del perfil de éste (Hillel, 1998; Scott, 2000).

Se hallaron diferencias significativas en todas las intensidades de lluvia (Figura 5b). Se aprecia que a una mayor intensidad de lluvia la pérdida de suelo por traslocación también es mayor, fenómeno que obedece a que cuando las lluvias son más fuertes y prolongadas, los poros del suelo se saturan más rápido de agua y posibilitan su desprendimiento dentro del perfil; acorde a Kinnell (2005), la capacidad de transporte del flujo superficial puede presentar tasas bajas, con traslado de sedimentos en el interior del perfil debido al flujo de transporte de partículas, ocasionado por altas intensidades de lluvia. Las duraciones de lluvia no tuvieron diferencias significativas; es probable que con mayores duraciones se presenten diferencias estadísticas y la pérdida de suelo sea mayor.

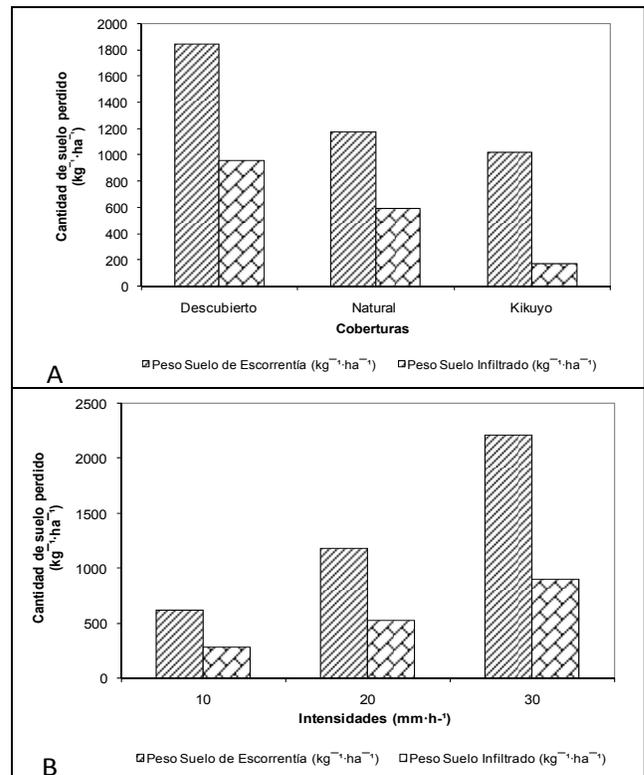


Figura 5a. Peso de suelo de escorrentía y peso de suelo infiltrado para diferentes coberturas de un Inceptisol de Tunja sometido al impacto de lluvias simuladas. 5b: Peso de suelo de escorrentía y peso de suelo infiltrado para distintas intensidades de lluvia de un Inceptisol de Tunja sometido bajo variadas coberturas al impacto de lluvias simuladas.

**Volumen de agua de escorrentía**

El volumen de escorrentía fue para suelo descubierto de 10,83 mm·ha<sup>-1</sup>, suelo con cobertura natural 1,69 mm·ha<sup>-1</sup> y suelo con kikuyo 1,51 mm·ha<sup>-1</sup>. El agua se desplazó en mayor cantidad en el suelo descubierto, mientras que el kikuyo ejerció una mayor fuerza de retención de agua, lo cual evitó la escorrentía (Figura 6a). El kikuyo no experimentó el mismo fenómeno debido a que en éste ocurrió una mayor infiltración de agua, lo que acarrió menor agua desplazada sobre su superficie, en comparación con el suelo descubierto.

El volumen de agua de escorrentía fue mayor en las intensidades de lluvia de 30 y 20 mm·h<sup>-1</sup>. La escorrentía fue directamente proporcional a la intensidad de la lluvia (Figura 6b). La intensidad de 30 mm·h<sup>-1</sup> tuvo una escorrentía de 6,94 mm·ha<sup>-1</sup>, la de 20 mm·h<sup>-1</sup> mostró 4,78 mm·ha<sup>-1</sup>, y la de 10 mm·h<sup>-1</sup> desplazó 2,32 mm·ha<sup>-1</sup> de agua sobre la superficie de suelo. Flanagan et al. (1987) sugirieron una tendencia general hacia una mayor tasa de escorrentía cuando la intensidad de las lluvias era más duradera.

**Volumen de agua infiltrada (lámina de agua infiltrada)**

Según la figura 6a, se observaron diferencias significativas para la cobertura de kikuyo con 5,02 mm·ha<sup>-1</sup> de agua infiltrada, frente a la cobertura natural con 4,30 mm·ha<sup>-1</sup>, y el suelo descubierto con 3,74 mm·ha<sup>-1</sup>. La cobertura de kikuyo permitió que se infiltrara un mayor volumen de agua, pues la cantidad de poros que genera esta capa vegetal es mayor y facilita el desplazamiento vertical del agua; es por eso que se hace más difícil la presencia de encharcamientos y la pérdida de suelo por escorrentía, como sí puede ocu-

rir en un suelo descubierto al cabo de transcurrido determinado tiempo.

Se apreciaron diferencias significativas para las intensidades de lluvia (Figura 6b), para  $30 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$  hubo un volumen de agua de  $6,79 \text{ mm}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $20 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$  presentó  $4,38 \text{ mm}\cdot\text{ha}^{-1}$ , y  $10 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $1,88 \text{ mm}\cdot\text{ha}^{-1}$ , para todas las duraciones de lluvia evaluadas, lo que demostró la influencia de la cantidad de agua que se aplicó sobre el volumen de agua infiltrado. Assouline *et al.* (2006) mencionan que la infiltración aumenta con la intensidad de la lluvia, afectada además por la pendiente del terreno.

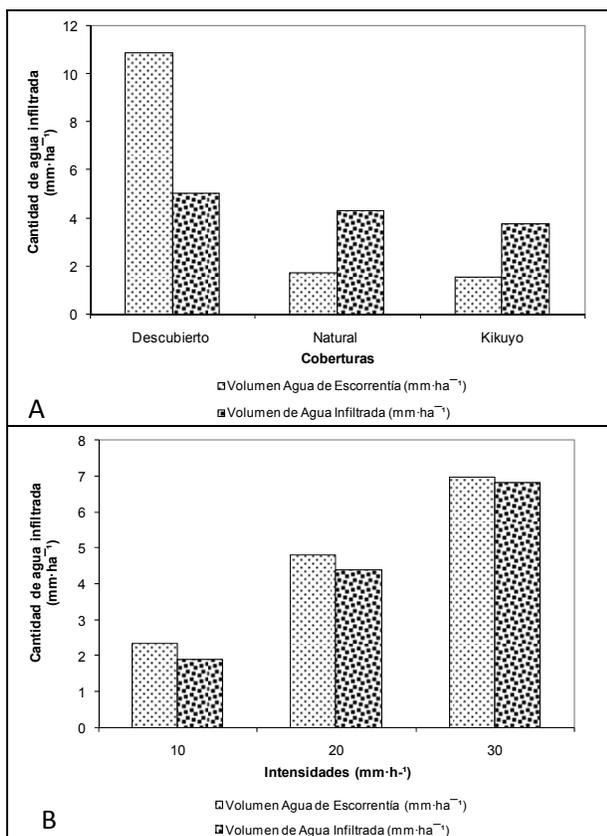


Figura 6a. Volumen de agua de escorrentía y volumen de agua de infiltración para diferentes coberturas de un Inceptisol de Tunja sometido al impacto de lluvias simuladas. 6b: Volumen de agua de escorrentía y volumen de agua de infiltración para distintas intensidades de lluvia de un Inceptisol de Tunja sometido bajo variadas coberturas al impacto de lluvias simuladas.

### Patrón anual de lluvias

Con respecto a los datos obtenidos de los informes climatológicos mensuales de la Estación Climatológica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, se realizó el estudio de las diversas precipitaciones presentadas en un intervalo de 10 años, de 1995 a 2006, analizando aquellas que estuviesen en un rango promedio entre 8 mm y hasta 30 mm, contemplando, además, los picos más altos.

De acuerdo con lo anterior, los periodos de mayor pérdida de suelo fueron 1998, 2002, 2003, 2004 y 2006, con tasas de  $14.573 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $14.508 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $14.755 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $14.517 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , y  $22.681 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , valores extrapolados para la cobertura de suelo con kikuyo, comparado con tasas de  $17.988 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $17.417 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $17.801 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $17.846 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , y  $27.474 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  para el suelo natural, y tasas de  $32.794 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $31.495 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $32.403 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $32.501 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , y  $46.663 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  para el suelo descubierto, respec-

tivamente. Márquez *et al.* (2007) demostraron en experimentos de simulación de lluvia en campo, realizados en el sur de Madrid (España), que en parcelas desnudas una intensidad de  $21 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ , tomando este valor como la intensidad de lluvia promedio de 12 años, puede llegar a generar una tasa de pérdida de suelo por escorrentía que va de  $36.280$  a  $74.300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ .

### Conclusiones

La mayor intensidad de lluvia generó la mayor cantidad de pérdida de suelo por escorrentía. La cubierta vegetal que presentó la menor pérdida de suelo y la mayor infiltración fue la cobertura de kikuyo, ya que esta cubierta vegetal contribuye a dar fuerza, estabilidad estructural, favorecer la infiltración del agua y a mantener la estabilidad de agregados del suelo, por tanto, es un factor clave en el control de la erosión hídrica de los suelos. Las duraciones de lluvia no afectaron la pérdida de suelo por escorrentía e infiltración. El patrón anual de lluvias de Tunja mostró que el año 2006 presentó la mayor pérdida de suelo, lo cual indica que se deben realizar programas de conservación de suelos en el área de estudio para atenuar la erosión y más estudios sobre la disminución del problema de pérdida de suelo.

### Bibliografía

- Assouline, S., Ben-Hur, M., Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing., *Catena* 66, 2006, pp. 211–220.
- Castro, H. E., Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas., *Produmedios*. Tunja, Colombia, 1998, 360p.
- De Lima, J. L. M. P., Singh, V. P., Isabel, M., The influence of storm movement on water erosion: storm direction and velocity effects., *Catena* 52, 2003, pp. 39–56.
- De Luis, M., González-Hidalgo, J. C., Raventós, J., Efectos erosivos de una lluvia torrencial en suelos afectados por quemas experimentales de diferente severidad., *Rev.C&G.*, NO.17, 2003, pp. 57-67.
- E kern, P. C., Rainfall intensity as a measure of storm erosivity., *Soil Science Society of America, Proceedings* No.18, 1954, pp. 212-216.
- Flanagan, D. C., Foster, Moldenhauer, G. R., W.C. Storm pattern effect on infiltration, runoff and erosion., *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, Vol. 31, No. 2, 1987, pp. 414–420.
- González-Hidalgo, J. C., Los índices de agresividad de la lluvia y su aplicación en la valoración de la erosión del suelo., *Sociedad Española de Geomorfología, Geoforma*, Logroño, 1996, pp. 37.
- Hillel, D., *Environmental Soil Physics.*, Academic Press, New York, 1998.
- Jiao, J., Wang, W., Hao, X., Precipitation and erosion features of rainstorms in different patterns on the Chinese Loess Plateau., *Journal of Arid Land Resources and Environment*, Vol.13, No. 1, (in Chinese with English abstract), 1999, pp. 34–41.
- Joseph, L., Pikul, J., Kristian, J. A., Water infiltration and storage affected by subsoiling and subsequent tillage., *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 67, 2003, pp. 859–867.
- Kinnell, P. I. A., Raindrop impact induced erosion processes and prediction: a review., *Hydrol. Process.*, Vol. 19, 2005, pp. 2815–2844.
- Kinderknecht, G. A., Paparotti, F., O., Saluzzio F. M., Estudio de la erosionabilidad de un suelo Vertisol mediante el uso de un simulador de lluvia., *INTA-EEA Paraná*. 2004, pp. 1-11.

- Li, Y., Zhu, X. M., Tian, J. Y., Effectiveness of plant roots to increase the anti-scourability of soil on the Loess Plateau., *Chin. Sci. Bull.* Vol. 36, (in Chinese), 1991, pp. 2077–2082.
- Marqués, M. J., Bienes, R., Jimenez, L., Pérez-Rodríguez, R., Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. Rainfall simulation over USLE plots., Instituto Madrileño de Investigación en Desarrollo Agrario y Alimentario, *Revista Science of the total Environment*, 2007, pp. 161-165.
- Márques, M. J., Jiménez, L., Alonso-Blázquez, N., García-Estríngana, P., Alegre, J., Bienes, R. Evaluación de la contaminación difusa por metales pesados originada por erosión hídrica en suelos enmendados con lodos de depuradora., In: Bienes R, Marqués MJ, editors. *Proceedings of I Simposio Nacional Sobre Control de la Erosión y Degradación del Suelo*, Madrid, 2003, pp. 417–21.
- Martens, D. A., Relationship between plant phenolic acids released during soil mineralization and aggregate stabilization., *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 66, 2002, pp. 1857-1867.
- Martínez-Mena, M., Abadía, R., Castillo, V., Albaladejo, J., Diseño experimental mediante lluvia simulada para el estudio de los cambios en la erosión del suelo durante la tormenta., *Rev. C&G*, Vol. 15, 2001, pp.1-2.
- Meyer, L. D., Rainfall simulators for soil conservation research. En: *Soil Erosion Research Methods.*, R. Lal (ed.), Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, Chapter 4, 1988.
- Meyer, G. A., Pierce, J. L., Wood, S. H., Jull, A. J. T., Fire, storms, and erosional events in the Idaho batholith., *Hydrological Processes*, Vol. 15, 2001, pp. 3025-3038.
- Nicolau, J. M., Bienes, R., Guerrero-Campo, J., Aroca, J. A., Gómez, B., Espigares, T., Runoff coefficient and soil erosion rates in croplands in a Mediterranean-continental region, in Central Spain. In: Rubio JL, Morgan RPC, Andreu V, editors., *Proceedings of the third International Congress Man and Soil at the Third Millenium*, Logroño, Geoforma ediciones, 2002, pp. 1359-68.
- Peterson, A. E., Bubenzer, G. D., In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis.*, Am. Soc. Agron, Madison, WI. Monograph, No. 9, 1986.
- Scott, V. H., Houston, C. E., *Measuring Irrigation Water.*, California Agric. Expt. Station, Circular 473, 1959.
- Scott, H. D., *Soil Physics.*, Iowa State University Press, Ames, 2000.
- Stomph, T. J., De Ridder, N., Steenhuis, T S., Van de Giesen, N. C., Scale effects of horizonal overland flow and rainfall-runoff dynamics: laboratory validation of a process-based model., *Earth Surf Process Landf*, 2002, No. 261, pp.1-23.
- Wu, W. D., Zheng, S. Z., Lu, Z. H., Effect of plant roots on penetrability and anti-scourability of red soil derived from Granite., *Pedosphere*, Vol. 10, 2000, pp. 183–188.