
Efecto de la cobertura por fragmentos gruesos de roca, sobre la erosión hídrica simulada en un suelo agrícola de ladera del estado Táchira¹

Effects of surface rock fragments on simulated erosion of an agricultural soil at a hillslope of the Táchira State. .

Efraín Visconti y Adriana Ramón

Departamento de Ingeniería Agronómica. Universidad nacional Experimental del Táchira. Avenida Universidad, Sector Paramillo , San Cristóbal estado Táchira-Venezuela . Código postal 5001.

RESUMEN

El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar el efecto que tiene la cobertura por fragmentos gruesos de roca (FGR) en la erosión hídrica de un suelo agrícola de ladera del Estado Táchira. Se utilizó un diseño completamente aleatorio con arreglo bifactorial, donde las unidades experimentales fueron bandejas de erosión de 600 cm² con suelo pasado por tamiz de 5 mm y cobertura de fragmentos gruesos de roca (FGR) entre 5 a 20 mm. Los factores evaluados fueron cobertura de FGR (0%, 20%, 40% y 60%) y gradiente de pendiente (0%, 5%, 10% y 17%). La lluvia simulada se aplicó con una intensidad de 120 mm/h, durante una hora para cada bandeja. Se midió la escorrentía superficial (mm), las pérdidas de suelo (g), se calculó la infiltración (mm) y se analizó la distribución de tamaño de partículas en el sedimento, así como el fósforo disponible. El factor pendiente tuvo la mayor influencia en los resultados obtenidos, los tra-

ABSTRACT

The present study was realized at the Táchira state, with the objective to evaluate the effect of surface rock fragments on the hydric soil erosion at a hillslope land of the Venezuelan Andes. The experiment consisted of a completely random design with bifactorial adjustment, where the experimental units were trays of 600 cm². The trays were prepared with soil passed through a sieve of 5 mm and a cover of coarse- rock fragments (CRF) of size between 5 to 20 mm. The evaluated factors were cover of CRF (0%, 20%, 40% and 60%) and slope gradient (0%, 5%, 10% and 17%). Rainfall simulations were hold at an intensity of 120 mm/h during one hour for each tray. The measured variables were runoff (mm), amount of sediment (g), water infiltration rate, particle size distribution in the sediment, and available phosphorus. In general, the slope gradient had more influence on the results than the CRF. The treatments with highest runoff are were those with the higher slope gradient (10% and 17%), the surface cover with CRF

¹ Recibido: 08-06-09; Aceptado: 22-02-10

tamientos con mayor escorrentía fueron los de mayor pendiente (10% y 17%). No se observó efecto de la cobertura con FGR en la generación de escorrentía. En correspondencia con el efecto dominante de la pendiente sobre la generación de escorrentía, se observó que los tratamientos con mayor infiltración fueron los de 0% de pendiente para cada nivel de cobertura con FGR. Cuando en el suelo estudiado tuvo una cobertura con FGR de 60 %, éstos lo protegieron contra el impacto de las gotas de lluvia, produciendo menor erosión. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos para el análisis de distribución de tamaño de partículas en el sedimento, pero se observó que la cantidad de fósforo presente en el sedimento fue superior a 280 mg*kg⁻¹ en todos los tratamientos, cantidad muy elevada y preocupante por su impacto contaminante en los cuerpos de agua superficiales.

Palabras clave: infiltración, pendiente, fragmentos gruesos de roca, erosión hídrica, estado Tá-

had no effect on the runoff values. The treatments with higher infiltration rate were those with slope gradient equal to 0%, for all levels of CRF cover which confirms the prominent effect of the slope gradient. Less soil erosion was observed when the evaluated soil had a 60% of cover with CRF, suggesting that there were a larger protection against the impact of rain drops. No significant difference was observed between treatments on the particle-size distribution of the sediments; but it was observed that the amount of available phosphorus present in the sediments was greater than 280 mg*kg⁻¹ in every treatment. This amount of phosphorus on the sediment a matter of concern due to its likely polluting impact on the surface fresh water.

Key word: infiltration, slope, coarse rock fragments, water erosion, Táchira State.

INTRODUCCIÓN

La erosión es un proceso que tiene lugar en forma espontánea en la naturaleza, con intensidad variable de unos escenarios a otros. La intervención del hombre hace que la intensidad del proceso pueda verse fuertemente incrementada. Cuando por cualquier motivo, no ocurre el proceso de infiltración y sumado a ello el suelo está desnudo, encostrado o compactado, ocurre un proceso llamado escorrentía, que se define como el movimiento del flujo laminar en la superficie, perdiéndose consigo suelo, nutrientes y agua, (Pla 1977, Porta *et al.* 1999).

Actualmente los suelos agrícolas de ladera del estado Táchira sostienen sistemas agrícolas de mediana a alta productividad, con la particularidad de tener su productividad sujeta a la pendiente en la ladera y a la presencia de fragmentos gruesos de roca (FGR), los cuales tienden a tener un efecto ambivalente sobre el proceso erosivo.

La importancia de la cobertura de FGR, como protección contra la erosión hídrica ha sido reconocida desde tiempos remotos en culturas ancestrales, así como también en tiempos modernos (Wishmeier y Smith, 1978. Poesen, *et al.* 1994, Nyssen, *et al.* 2001). Los FGR, sobre la superficie del suelo o en la capa superficial del suelo, afectan el proceso de erosión hídrica, tanto directamente como indirectamente.

Al respecto Poesen *et al.* (1994) señalan que el efecto directo de los FGR comprende dar protección por cubrimiento de la superficie del suelo, contra el subproceso de separación de las partículas por impacto de las gotas de lluvia; reduciendo la salpicadura, también reduce el escurrimiento y detiene el transporte de sedimentos por efecto de intercepción. Los efectos indirectos son numerosos, dentro de los cuales se pueden señalar los siguientes: el efecto de los FGR sobre las propiedades de la fracción fina del suelo (porosidad y contenido de materia orgánica), sobre los procesos de degradación física (sellado superficial y compactación) y en los procesos hidrológicos del suelo (infiltración, permeabilidad y escurrimiento subsuperficial). Sin embargo, los mismos autores señalan que el efecto neto de los FGR sobre los procesos de erosión hídrica, depende de la escala espacial y temporal considerada, es decir que, bajo determinadas condiciones la presencia de los FGR puede favorecer la erosión hídrica de suelo. Con respecto a la escala espacial, en la cual se evalúa el efecto de los FGR, se proponen tres escalas, a saber: la micro, la meso y la macro. La superficie de suelo que está directamente debajo de un FGR, se considera como la micro escala. Cuando se toma en consideración el suelo debajo del fragmento conjuntamente con la superficie descubierta a su alrededor, se trata de la meso escala. Finalmente si se considera la pendiente o ladera en su totalidad con toda su diversidad, entonces se trata de la macro escala.

Existe la percepción generalizada en que los FGR constituyen un "mulch" o cobertura sobre el suelo que ejerce protección contra las pérdidas de suelo por erosión hídrica sin embargo, no siempre ese es el caso.

Según Ingelmo *et al.* (1994), son numerosos los estudios que han revelado un efecto complejo y ambiguo, de los FGR en el control de la erosión hídrica. Dependiendo en gran forma de la estructura del suelo fino superficial, de la posición vertical de los fragmentos de roca, del tamaño y cantidad de fragmentos y también de la pendiente en la ladera. Poesen *et al.* (1994), explican que al caer agua sobre los FGR, se origina el escurrimiento del agua sobre los mismos y hacia el suelo. Este escurrimiento al alcanzar el suelo fino, puede infiltrar inmediatamente o puede continuar como escorrentía. Lo primero ocurre cuando en el suelo fino existe una buena estructura (macroporos) que favorecen la infiltración y percolación. Lo segundo ocurre cuando en el suelo fino se ha formado un sello que impide la infiltración del agua. Esto último es muy perjudicial porque genera un flujo de escorrentía superficial concentrado que incrementa su capacidad de separación y transporte del suelo fino, con lo cual incrementa las pérdidas de suelo.

Los efectos del tamaño de los FGR en las pérdidas de suelo durante lluvias de alta intensidad han sido ampliamente estudiados por Poesen *et al.* (1994), señalando que los fragmentos de roca grandes son menos eficientes en controlar la erosión en comparación con los fragmentos pequeños. Esto lo explican diciendo que cuando son fragmentos grandes hay mayor producción de flujo sobre las rocas, lo cual incrementa la cantidad de agua que se puede convertir en escorrentía superficial. Según algunos de sus resultados, los suelos ricos en piedras (fragmentos de tamaño > a 40 mm) en promedio eran 32% más susceptibles a la erosión, en comparación con suelos ricos en gravas (fragmentos de tamaño entre 2 y 40 mm). Sin embargo, el contenido o cantidad de FGR es el factor más determinante en el efecto protector contra la erosión hídrica del suelo. Por ello, cuando el contenido de FGR en el suelo es alto, tiene poca importancia su posición vertical y tamaño, pues el efecto de cobertura, interceptación y rugosidad, potencian la capacidad protectora. Se considera que la máxima protección contra la erosión se consigue con una cobertura del 70 a 100%, situación que se denomina suelo con pavimento de roca o suelo "ripioso".

Se ha señalado que la presencia de FGR en superficie, aumenta la rugosidad, lo que ocasiona que la energía y la velocidad del flujo de agua de escorrentía disminuyan, incrementando con ello la infiltración in situ y disminuyendo la capacidad de separación y transporte de sedimentos en el flujo (Ingelmo *et al.*, 1994; Poesen y Lavee, 1994).

Los efectos de los FGR en la infiltración y percolación, son discutidos por Brakensiek y Rawls (1994), ellos encontraron que los fragmentos rocosos tienen un efecto ambivalente en el grado de infiltración y en la generación de escorrentía sobre la superficie del suelo. Que el volumen total de infiltración sea finalmente aumentado o disminuido por la presencia de los FGR en la superficie del suelo, depende de varios factores tales como posición, tamaño y cobertura de FGR, así como también de la estructura del suelo fino.

Moustakas *et al.* (1995), realizaron un estudio para evaluar cómo diferentes tamaños de FGR, diferente contenido y su ubicación en el suelo, afectan el escurrimiento y la erosión hídrica, en un suelo *Typic Calcixerroll*, en una ladera con 17 % de pendiente. Los resultados demostraron que de todos los tratamientos, se obtuvo mayor escurrimiento en los tratamientos de suelo desnudo con fragmentos gruesos de roca. Adicionalmente se observó que se produce mayor escurrimiento cuando los FGR están enterrados parcialmente en el suelo. Sin embargo, estos autores advierten que el efecto de los FGR sobre la producción de escurrimiento depende de la intensidad de las precipitaciones, ya que observaron que en eventos de alta intensidad; se produce un efecto protector, pues se reportó menos escurrimiento en los tratamientos con FGR. Era en los eventos de baja intensidad y larga duración cuando se produjo mayor escurrimiento en los tratamientos con FGR. Con respecto a la pérdida de suelo en los distintos tratamientos, los autores señalan un comportamiento similar al del escurrimiento. Por lo anterior, concluyen que efectivamente los FGR tienen un rol importante sobre la erosión hídrica en suelos de ladera. Se reportó la máxima pérdida de suelo y escurrimiento en los suelos con mayor contenido de fragmentos grandes (9,4 cm a 18,9 cm) y parcialmente enterrados. Sin embargo, los suelos con abundante contenido de fragmentos tipo gravas (1,9 cm a 6,7 cm) en superficie, mostraron un efecto ambiguo y dependiente de la intensidad de los eventos de precipitación.

Nyssen *et al.* (2001), condujeron un estudio para analizar el efecto que sobre la producción y las pérdidas de suelo, tiene la remoción de los FGR en un suelo *Vertic Cambisol* de ladera. Los resultados demostraron claramente que la remoción de los fragmentos de roca, condujeron a una mayor pérdida de

suelo por erosión hídrica. El análisis de regresión mostró una relación lineal entre las pérdidas de suelo y la cobertura de fragmentos de roca. El análisis sugiere que se producen mayores pérdidas de suelo cuando es menor la cobertura con fragmentos de roca. En el estudio se incluyó la observación de la importancia del tamaño de los fragmentos de roca en el control de las pérdidas de suelo. A este respecto, consiguieron observar que para todos los tamaños de fragmentos, las pérdidas de suelo fueron menor cuanto mayor era la cobertura con fragmentos de roca. Sin embargo, la correlación era claramente mejor cuando se trataba de fragmentos de roca pequeños (tamaño < 2 cm) y fragmentos de roca medianos (tamaño de 2 cm a 5 cm).

La compleja dinámica de los factores que influyen en la erosión hídrica de suelos con presencia de FGR, determina la ambivalencia del efecto de los FGR sobre la erosión hídrica y plantea la necesidad de conducir estudios para los suelos pedregosos de cada localidad. Por ello, se realizó este trabajo cuyo objetivo fue evaluar el efecto que tienen los FGR en superficie sobre la erosión hídrica en un suelo agrícola de ladera del Municipio José María Vargas del estado Táchira.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de suelo fueron tomadas en el Municipio José María Vargas, en la finca del señor Amado Sánchez, ubicado en el sector El Molino cercano a la población El Cobre, a una altura de 2050 msnm con una precipitación anual promedio de 897,8 mm y con coordenadas geográficas Norte 08° 01' 27" y Oeste 72° 03' 49,4". El suelo del lugar de estudio se encuentra en una ladera con 10% de pendiente rectilínea y se caracteriza por tener textura franco arenosa con predominio de arenas muy finas (Cuadro 1), de reacción extremadamente ácida, un contenido medio de materia orgánica y un alto contenido de fósforo, potasio, calcio y magnesio, pero sin problemas de salinidad, se clasifica como un *Typic Palehumult* (USDA Soil Taxonomy). El suelo tiene un contenido total en peso de fragmentos de rocas de 40,2% en los primeros 30 cm de profundidad, siendo las gravas la fracción de tamaño más abundante (Cuadro 2). Estos FGR provienen de material del afloramiento de la formación litológica La Quinta donde predominan las y consisten en lutitas ferruginosas con forma blocosa subangular y granular. Estos suelos se destinan al cultivo intensivo de hortalizas, con un sistema de labranza convencional donde se utiliza el arado con buey o rastras de discos y cultivadoras tiradas por tractor. La siembra se realiza en suelo desnudo, la fertilización es principalmente química, aunque eventualmente se hace uso de abono orgánico y siempre se utiliza el riego por aspersión.

Cuadro 1. Características de la fracción fina (< 2mm) del suelo estudiado (0 – 30 cm)

Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	pH	C.E. (dS*m ⁻¹)	M.O. (%)	P (mg*kg ⁻¹)	K (mg*kg ⁻¹)	Ca (mg*kg ⁻¹)	Mg (mg*kg ⁻¹)
7,8	30,2	62	4,4	1,36	3,47	460	434	1888	280

Cuadro 2. Contenido de fragmentos gruesos de roca en el suelo estudiado (0-30 cm)

Suelo fino (%)	Fragmentos de 2 a 5 mm. (%)	Fragmentos de 5 a 8 mm. (%)	Fragmentos > a 8 mm. (%)
59,76	12,08	10,05	18,10

El trabajo consistió en un experimento completamente aleatorio y arreglo bifactorial con tres repeticiones, para un total de 48 unidades experimentales, los factores fueron cobertura de FGR (0 %, 20 %, 40 % y 60 %) y pendiente (0 %, 5 %, 10 % y 17 %). Las mediciones se realizaron en meso parcelas (bandejas de erosión de 600 cm²) que permitieron comparar el efecto de diferentes contenidos en superficie de FGR con diámetro equivalente entre 5 a 20 mm, a diferentes gradientes de pendiente, en la generación de agua de escorrentía, en la infiltración y en el arrastre de sedimentos. Se decidió trabajar con este tamaño de FGR para la cobertura, guiados por la información sobre la mayor protección del suelo contra la erosión por FGR de tamaño menor a 40 mm y también al hecho que en condiciones de campo

los FGR más abundantes son los de tamaño menor a 20 mm. Las bandejas se llenaron con suelo pasado por un tamiz de 5 mm y la cobertura con el respectivo porcentaje de FGR (0 %, 20 %, 40% y 60 %) se arregló con una malla de puntos (Figura 1).

Se empleó un simulador de lluvia portátil que produce gotas por caída libre con tamaño promedio de 4 mm, colocado a una altura de 2,50 m y calibrado para generar una lluvia simulada con una intensidad aproximada de $120 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ aproximadamente. Cada bandeja se sometió a la lluvia simulada durante un período continuo de una hora. La escorrentía se determinó a partir del agua que se midió con cilindro graduado y que fuera colectada durante cada prueba, mientras que la infiltración se conoció por diferencia entre la lluvia simulada y la escorrentía medida.

La distribución del tamaño de partículas del sedimento recogido se realizó mediante el uso de una solución dispersante de hexametáfosfato de sodio al 10% y tamizado con tamices de apertura: 2000, 500, 100 y 53 micrómetros, para separar los FGR, las arenas muy gruesas + arenas gruesas, las arenas medias + arenas finas, las arenas muy finas y los limos + arcillas respectivamente (Pla, 1977).

El análisis del fósforo disponible en el sedimento recogido se realizó mediante el método de Bray y medición colorimétrica con un equipo Spectronic 20 (Brito et al. 1990).

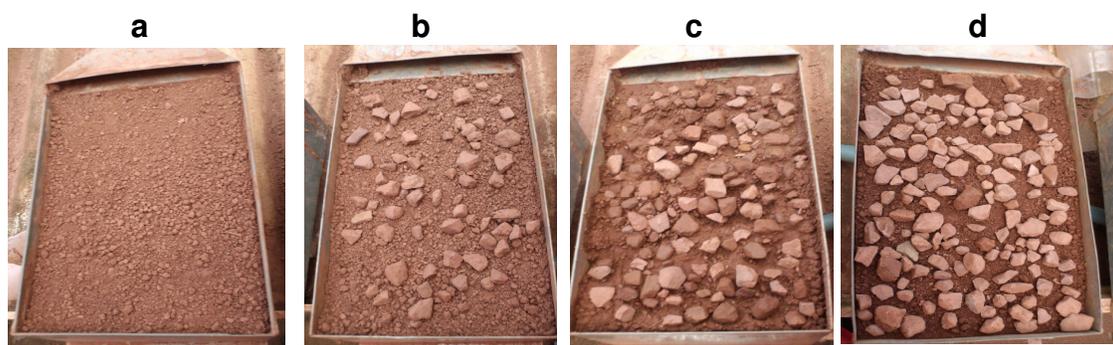


Figura 1. Tratamientos con 0% (a), 20% (b), 40% (c) y 60% (d) de cobertura con FGR.

RESULTADOS

Los resultados de las variables medidas en las bandejas de erosión requirieron un análisis no paramétrico como es la prueba de Kruskal Wallis, debido a que no se cumplieron los supuestos del análisis de varianza paramétrico. El análisis mostró que existe diferencia significativa entre las medias de los tratamientos para las variables sedimento, escorrentía e infiltración, a las cuales se les hizo la prueba de medias Tukey HSD (Cuadro 3).

Algunos autores señalan que los FGR disminuyen la escorrentía, por incremento de la rugosidad, lo cual ocasiona que la energía y la velocidad del flujo del agua de escorrentía disminuyan, incrementando con ello la infiltración "in situ". Pero en este suelo, los tratamientos con mayor escorrentía fueron 20% de FGR y 10% de pendiente, 40% de FGR y 17% de pendiente y 60% de FGR y 17% de pendiente, observándose claramente que lo expuesto con respecto a la disminución de la escorrentía por cobertura con FGR solo se cumple para pendientes menores al 10%, ya que la influencia de la pendiente sobre la escorrentía predomina a pendientes mayores, pues la mayor escorrentía se produjo en aquellos tratamientos de mayor porcentaje de pendiente, indistintamente del contenido de FGR en superficie. Para la variable escorrentía total (mm), es necesario aclarar que los cuatro tratamientos con 0% de pendiente, no producen escorrentía propiamente, sin embargo, para el análisis estadístico se utilizó el agua colectada en estos tratamientos.

El comportamiento de la infiltración en los tratamientos con 0% de pendiente muestra que la presencia de los FGR en superficie mejora la infiltración en el suelo, en comparación a cuando el suelo no tiene cobertura de FGR. Esto coincide con lo señalado por Agassi y Levy (1991), quienes encontraron que al incrementarse la cantidad de FGR en superficie se incrementó la infiltración. Esto obedece a la protección del suelo ejercida por los FGR contra el impacto de las gotas de lluvia, evitando la formación de sello debajo de las mismas. Sin embargo, para las condiciones del ensayo cuando se combinan los factores pendiente y cobertura con FGR, se aprecia una influencia predominante de la pendiente sobre las variables escorrentía, infiltración y pérdida de suelo.

Cuadro 3. Grupos homogéneos de las variables mediante prueba de medias Tukey

Tratamiento		Escorrentía (mm)		Sedimento (g)		Infiltración (mm*h ⁻¹)	
Nº	Descripción						
1	0%FGR y 0% P	7.33	d	8.67	f	95.67	abc
2	0%FGR y 5% P	48.00	abc	53.00	bcde	83.0	bc
3	0%FGR y 10% P	44.33	abc	71.66	abc	70.67	c
4	0%FGR y 17% P	44.66	abc	108.0	a	80.33	bc
5	20%FGR y 0% P	3.00	d	4.67	f	116.0	a
6	20%FGR y 5% P	44.66	abc	57.67	bcd	88.33	abc
7	2%FGR y 10% P	62.33	a	74.0	abc	64.67	c
8	2%FGR y 17% P	48.00	abc	80.33	ab	75.00	c
9	40%FGR y 0% P	21.66	cd	5.33	f	109.33	ab
10	40%FGR y 5% P	46.66	abc	29.33	def	78.33	bc
11	40%FGR y 10%P	49.66	ab	58.67	bcd	81.33	bc
12	40%FGR y 17%P	60.33	a	80.6	ab	66.67	c
13	60%FGR y 0% P	10.33	d	1.67	f	116.67	a
14	60%FGR y 5% P	26.33	bcd	11.67	f	94.67	abc
15	60%FGR y 10%P	44.66	abc	32.33	cdef	77.33	bc
16	60%FGR y 17%P	57.66	a	82.67	ab	65.33	c

En cada columna, letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Para la variable infiltración (mm*h⁻¹) se puede observar que los valores más altos se presentan en los tratamientos 5 (20 % de FGR y 0 % de pendiente) y 13 (60 % de FGR y 0 % de pendiente), estos dos tratamientos tienen en común poseer 0% de pendiente. Por otra parte, los tratamientos con la menor infiltración son el 16 (60% de FGR y 17% de pendiente), el 12 (40% de FGR y 17% de pendiente), el 8 (20% de FGR y 17% de pendiente), el 7 (20% de FGR y 10% de pendiente) y el 3 (0% de FGR y 10% de pendiente). Observamos que la pendiente es el factor que determina principalmente el comportamiento de la infiltración, a mayor pendiente hay menos infiltración, lo cual genera mayor escorrentía independientemente de la cobertura con FGR.

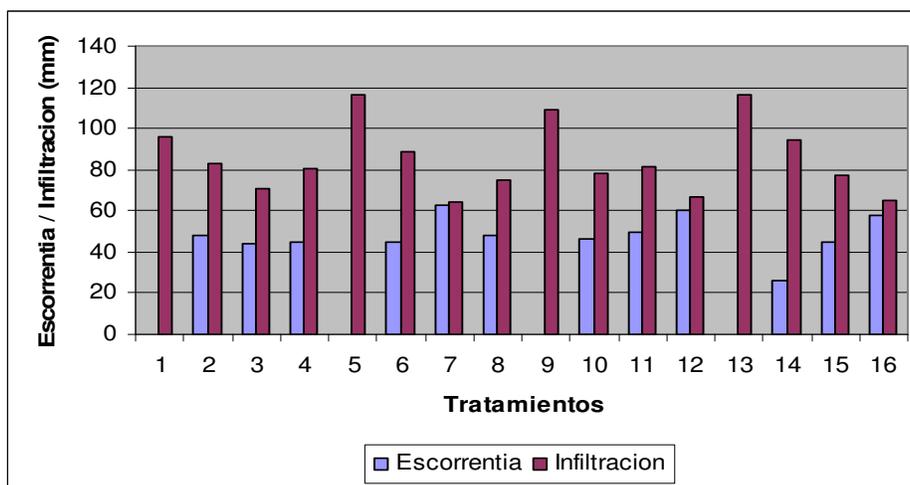


Figura 2. Pérdidas de agua por escorrentía superficial e infiltración acumulada.

Para la variable sedimento los tratamientos con mayores pérdidas son 4 (0 % de FGR y 17 % de pendiente), 8 (20 % de FGR y 17 % de pendiente), 12 (40 % de FGR y 17 % de pendiente) y el tratamiento 16 (60 % de FGR y 17 % de pendiente), siendo el tratamiento 4, el que presenta mayor pérdida de suelo, lo que indica que la cobertura con FGR, en cierta medida, sí puede proteger al suelo de la erosión hídrica, sin embargo la pendiente tiene un efecto dominante sobre la pérdida de suelo, al producirse mayor escorrentía a mayores pendientes. En consecuencia, los tratamientos con menores pérdidas de suelo son, el tratamiento 1 (0 % de FGR y 0 % de pendiente), el 5 (20 % de FGR y 0 % de pendiente), el 9 (40 % de FGR y 0 % de pendiente), el 13 (60 % de FGR y 0 % de pendiente) y el tratamiento 14 (60 % de FGR y 5 % de pendiente).

La producción y arrastre de sedimentos, fue significativamente mayor en los tratamientos con 17% de pendiente en todos los niveles de cobertura de FGR (Figura 1), lo cual corrobora que a mayor pendiente mayor generación de agua de escorrentía y mayor arrastre de sedimentos, evidenciándose además que coberturas con FGR de tamaño entre 5 a 20 mm no ofrecen protección contra la erosión hídrica a pendientes mayores del 10% en este suelo en eventos de lluvias de alta intensidad.

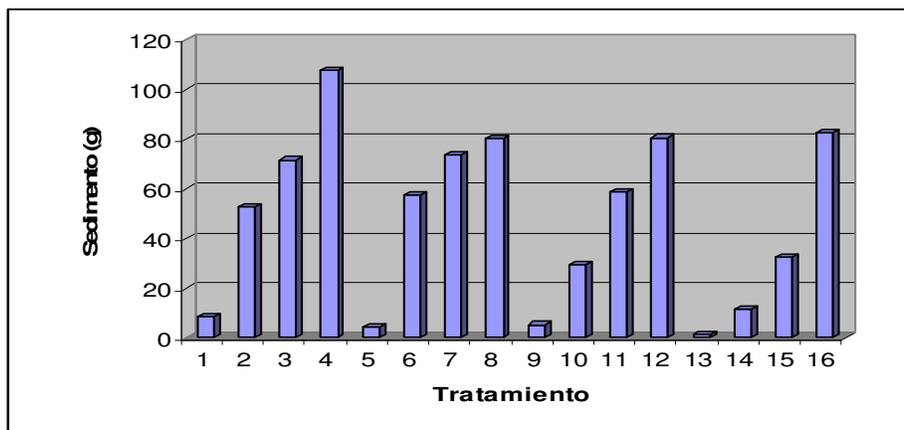


Figura 3. Pérdidas de suelo por erosión hídrica en cada uno de los tratamientos

Los tratamientos que se diferenciaron como grupo homogéneo con la menor producción y arrastre de sedimentos fueron los de cero pendiente y cobertura de FGR de 0%, 20%, 40% y 60% respectivamente, conjuntamente con el tratamiento de 5% de pendiente y 60% de cobertura de FGR. Esto último es altamente resaltante porque evidencia un efecto de protección del suelo contra la erosión hídrica cuando hay un 60% de cobertura y pendientes iguales o menores al 5%. Por otra parte, en las meso parcelas de 40% y 60% de cobertura a 17% de pendiente respectivamente, se observó un efecto de concentración del flujo de escorrentía al formarse surquillos entre los FGR, lo cual contrarresta el efecto de protección al impacto de las gotas de lluvia, siendo ello la causa probable de una alta producción de sedimentos en esas condiciones.

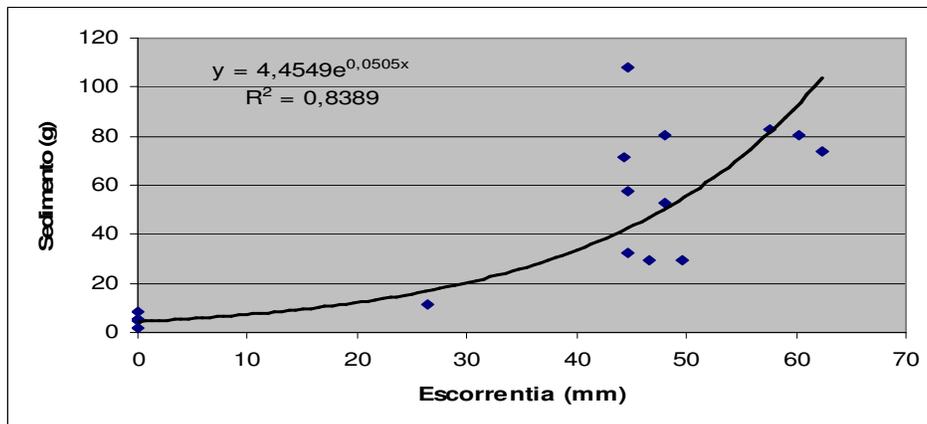


Figura 4. Relación entre escorrentía (mm) y pérdidas de suelo (g/600 cm²)

Al observar la relación entre la escorrentía generada en cada tratamiento con el respectivo sedimento producido (Figura 4), encontramos que se aprecia claramente un incremento exponencial del sedimento producido con el incremento de la escorrentía generada y que las mayores escorrentías se han producido en los tratamientos de 17% de pendiente para cada contenido de cobertura con FGR. Se aprecia el buen comportamiento del tratamiento con 60% de cobertura de FGR y 5% de pendiente, similar al de los tratamientos con 0% de pendiente. Estos resultados coinciden con los autores que señalan que se producen mayores pérdidas de suelo cuando es menor la cobertura con FGR (Poesen *et al.*, 1994, Nyssen *et al.*, 2001).

Conocer la composición del sedimento producido durante los eventos erosivos tiene una importancia relevante dado que permite dimensionar los graves efectos ambientales que causa la erosión, por lo que se evaluó el contenido de fósforo disponible en el sedimento recogido y la distribución del tamaño de partículas. Los valores de P-disponible en el sedimento (Figura 5), son superiores a 280 mg.kg^{-1} en todos los tratamientos, cantidades muy elevadas y preocupantes por su impacto contaminante en los cuerpos de agua superficiales. Estas elevadas cantidades de P-disponible en el sedimento indudablemente se relacionan con los muy altos niveles de fósforo (460 mg/kg) reportados en los análisis químicos de este suelo, el cual tiene su origen en las elevadas dosis de fertilizante empleadas por los agricultores desde hace mucho tiempo. Esta situación se interpreta como un efecto indirecto de la presencia de FGR en estos suelos, ya que reducen el volumen de suelo fino y provocan una concentración de nutriente que luego es arrastrado por la erosión.

Con respecto al análisis de la distribución del tamaño de partículas del sedimento, se observó que el mismo tiene muy buena coincidencia con la distribución de tamaño de partículas del suelo en campo y además no hubo diferencias significativas entre los tratamientos para el análisis de distribución de tamaño de partículas en el sedimento. Esto indica que en los procesos de separación y arrastre de las partículas por erosión hídrica de este suelo, no se produjo selectividad de las partículas finas, es decir, que la cobertura con FGR no tiene efecto sobre la selectividad de partículas finas en el proceso erosivo.

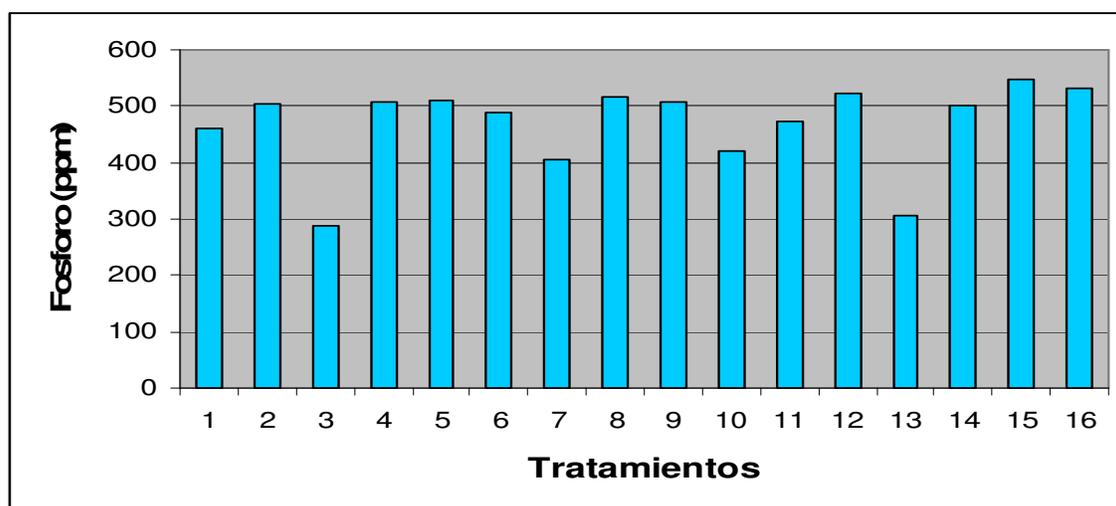


Figura 5. Fósforo disponible en el sedimento correspondiente a cada tratamiento.

CONCLUSIONES

La cobertura con FGR en el suelo estudiado a escala de meso parcelas, tuvo un efecto protector contra la erosión hídrica en ciertas condiciones de pendiente y cantidad de FGR. Cuando la cobertura con FGR es de 60% se reduce la erosión, observándose el óptimo de cobertura al 60% de FGR y para pendientes menores a 5%.

El factor que determina la generación de escorrentía en el suelo estudiado, es la pendiente, la influencia de la pendiente sobre la escorrentía predomina a pendientes mayores, pues la mayor escorrentía se produjo en aquellos tratamientos de porcentaje de pendiente superior a 10%, indistintamente del contenido de FGR en superficie.

Las bandejas de erosión permitieron observar un incremento exponencial del sedimento producido con el incremento de la escorrentía generada y que la cobertura con FGR menor a 60% y de tamaño entre 5 a 20 mm no protegen suficientemente este suelo de la erosión hídrica a pendientes mayores al 5%, por lo tanto es necesario adelantar trabajos de campo que permitan generar recomendaciones para el uso de las prácticas de manejo más apropiadas en la conservación de estos suelos agrícolas de ladera.

Las pérdidas de suelo por erosión hídrica no solo causan la degradación del suelo, sino que también generan serios problemas ambientales, esto queda demostrado en los elevados niveles de fósforo disponible encontrados en el sedimento. Esto guarda relación con los altos niveles de fósforo disponible en el suelo como consecuencia de la acumulación del fósforo residual de los fertilizantes químicos.

LITERATURA CITADA

- Agassi, M. y G. Levy. 1991.** Stone cover and rain intensity: effects on infiltration, erosion and water splash. *Australian Journal of Soil Research*. 29: 565 – 575.
- Brakensiek, D. y W. Rawls. 1994.** Soil containing rock fragments: effects on infiltration. *Catena*. Vol, 2399-110.
- Brito, J., I. Rojas y R. Roberti. 1990.** Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Manual de métodos y procedimientos de referencias. FONAIAP – CENIAP. Maracay, Venezuela.
- Ingelmo, F. , S. Cuadrado, A. Ibanez, y J. Hernandez, 1994.** Hydric properties of some Spanish soils in relation to their rock fragment content: implications for runoff and vegetation. *CATENA* Vol. 23 65 – 71.
- Moustakas, N., C. Kosmas, N. Danalatos y N. Yassoglou. 1995.** Rock fragments. Their effect on runoff, erosion and soil properties under field conditions. *Soil use and management*. Vol, 11 115-120.
- Nyssen, J., H. Mitiku, J. Poesen, J. Deckers. y J. Moeyersons 2001.** Removal of rocks fragments and its effect on soil loss and crop yield, Tigray, Ethiopia. *Soil use and management*. Vol, 17 179-187.
- Pla, I. 1977.** Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Postgrado en ciencia del suelo. FAGRO UCV. Maracay. Venezuela. 50-59 pp.
- Poesen, J. y H. Lavee, 1994.** Rock fragments in top soil: Significance and processes. *Catena*, 23:1-28.
- Poesen, J, D. Torri, y K. Bunte. 1994.** Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review. *CATENA* Vol. 23 141 – 166.
- Porta, J.; M. Lopez, y C. Roque. 1999.** Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid, España. Mundi-prensa. 2da edición 601.
- Wischmeier, W. y D. Smith. 1978.** Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. *USDA Agricultural Handbook*.