

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE BARRERAS VIVAS COMO SISTEMAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS EN LADERA

Onelia del C. Andrade B.¹ y Oscar S. Rodríguez P.²

RESUMEN

Para determinar y comparar la eficiencia de distintas barreras vivas en la protección de un suelo de ladera cultivado con zanahoria (*Daucus carota*), se realizó un ensayo bajo condiciones de lluvia natural en la Región Central de Venezuela utilizando parcelas de erosión en campo de 1x10 m y pendientes de 15 y 20%, sobre un suelo *Aquic Paleudult*. Los materiales vegetativos evaluados fueron: vetiver (*Vetiveria zizanioides*) con dos fechas de siembra, pasto Guatemala (*Tripsacum daniellii*), helecho (*Nephrolepis sp.*), lirio africano (*Agapanthus africanus*) y malojillo (*Cymbopogon citratus*). Fueron determinados factores de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE), pérdidas de suelo, agua, materia orgánica y nutrientes, así como humedad en el suelo y rendimiento del cultivo. Los resultados mostraron que la erosividad de la lluvia y la erosionabilidad del suelo fueron bajas, el grado de la pendiente aumentó las pérdidas y el cultivo ofreció un bajo grado de protección al suelo. La barrera más eficiente en reducir las pérdidas de suelo, agua, materia orgánica, nutrientes y mantener un mayor contenido de humedad en el suelo fue el vetiver de 10 años. Los mayores rendimientos fueron obtenidos a distancias superiores a 1 m de la barrera viva, con tendencias a disminuir aguas arriba de la parcela de erosión.

Palabras clave adicionales: Erosión hídrica, barrera viva, cultivo en ladera, USLE

ABSTRACT

Assessment of efficiency of vegetative barriers as soil conservation systems on steep lands

In order to determine and compare the efficiency of different vegetative barriers as a soil conservation measure on steep lands, cultivated with carrot (*Daucus carota*), an experiment was conducted under natural rainfall conditions in Bajo Seco Experimental Station in the mountainous zone of the North Central Region of Venezuela, using field erosion plots 1 m width and 10 m length, with slopes of 15 and 20 %, on an *Aquic Paleudult* soil. Plant materials assessed included: vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) with two planting dates, Guatemala grass (*Tripsacum daniellii*), fern (*Nephrolepis sp.*), african's lily (*Agapanthus africanus*) and lemon grass (*Cymbopogon citratus*). Soil, water, nutrients and organic matter losses were determined as well as soil water content, crop yields and the universal soil losses equation (USLE) factors. Results showed that rainfall erosivity and soil erodability were low during the evaluation period. Soil and water losses increased as slope increased. Carrot crop offered very poor protection against soil erosion. The most efficient barrier to reduce soil, nutrients, organic matter and water losses and keep higher water contents in the soil was vetiver 10 year-old. Higher yields were obtained one meter above the vegetative barriers with a trend to be lower at the upper side of the erosion plots.

Additional key words: Soil erosion, vegetative barriers, steep land crops, USLE

INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica es uno de los procesos de degradación más conocidos y ampliamente distribuidos, y el problema que representa depende de la manera en que se combinen los factores e interacciones que intervienen en el proceso: clima, suelo, topografía, cobertura vegetal y prácticas de conservación (FAO, 1977). En el diagnóstico de su riesgo, el modelo

más utilizado a nivel mundial es la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) de Wischmeier y Smith (1978) debido a la enorme base de datos que la sustenta y a su valor práctico, convirtiéndose en herramienta valiosa en las investigaciones llevadas a cabo en el país (Rodríguez, et al 1989).

El mantenimiento de la productividad del suelo para lograr una producción agrícola sostenida y un uso más eficiente del agua

Recibido: Enero 16, 2002

Acceptado: Agosto 12, 2002

¹ Facultad de Humanidades, Universidad Yacambú. Apdo. 1058. Barquisimeto, Venezuela. e-mail: helauren@yahoo.com

² Dpto. de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela (UCV). Apdo. 4579. Maracay, Venezuela.

requiere de prácticas de conservación, siendo las agronómicas las de más fácil aceptación por los productores (Roose, 1993). Las barreras vivas constituyen una práctica de conservación agronómica aplicable a tierras arables y no arables de ladera, y a diversos sistemas agrícolas, siendo una de las de mayor eficiencia y transferibilidad en países tropicales tanto por su bajo costo como por su simplicidad de diseño y facilidad de mantenimiento (Rodríguez 1993). Consisten en una hilera de plantas, perennes o semi-perennes, de crecimiento denso en el suelo, sembradas perpendicularmente a la pendiente o en curvas de nivel, con la finalidad de disminuir la velocidad de escorrentía y provocar la sedimentación (Suárez, 1979). En la USLE, su eficiencia se evalúa a través del factor Pbv (práctica de barrera viva), cuyos valores van a depender de las condiciones de la barrera (edad, ancho, espaciamiento, especie utilizada) y de las características de la unidad de tierra (Páez et al., 1992). Roose (1977) señala para Africa del Oeste una eficiencia o valor Pbv entre 0,1 y 0,3. En Venezuela, Páez y Rodríguez (1989) reportaron valores de 0,25 para el primer año y 0,37 para el segundo año, en una barrera de 0,5 m de ancho de cadillo bobo (*Cenchrus ciliaris*) mientras que Castillo (1991) encontró valores de 0,1 en una barrera de vetiver (*Vetiveria zizanioides*).

El efecto de las barreras vivas ha sido evaluado en diversas variables relacionadas con la productividad de los suelos y en la combinación con otras prácticas de manejo, encontrándose efectos satisfactorios. Por ejemplo, Sivaraj (1996) encontró un 20% más en el contenido de humedad de los suelos, y Sur y Sandhu (1996) reportaron un incremento de hasta 122% en el rendimiento del maíz, 89% en ajonjolí y 142 % en soya. Por su parte, Castillo (1991), Fernández (1995) y Urbina y Rodríguez (1995) consiguieron disminuir aún más las pérdidas de suelo, agua y nutrimentos cuando combinaron barreras de vetiver con otras prácticas.

La finalidad de la presente investigación fue validar una alternativa sencilla, económica y de fácil adopción por parte de los productores, quienes en la mayoría de los casos carecen de recursos o simplemente no están motivados en el uso de prácticas de conservación de suelos y

aguas. Así, el objetivo planteado fue el de evaluar la eficiencia relativa de distintos materiales vegetativos utilizados como barreras vivas en la protección de un suelo de ladera bajo cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue desarrollado durante el período lluvioso de septiembre-diciembre de 1997 en terrenos de la Estación Experimental Bajo Seco, cuenca alta del río Petaquire, a unos 1800 msnm, en donde se desarrolla una horticultura intensiva con evidentes problemas de erosión. Se utilizaron parcelas de erosión de 1 m de ancho x 10 m de largo y pendientes de 15 a 20 %, en un suelo *Aquic Paleudult* (Abreu y Ojeda, 1984) en barbecho, con baja fertilidad natural, pH ácido, textura franco arenosa, estructura blocosa sub-angular y drenaje moderado. Los materiales vegetativos fueron vetiver (*Vetiveria zizanioides*), pasto Guatemala (*Tripsacum daniellii*), helecho (*Nephrolepis sp.*), lirio (*Agapanthus africanus*) y malojillo (*Cymbopogon citratus*), establecidas en el extremo inferior, aguas abajo de la parcela, sembradas en hilera sencilla con una distancia de separación de 10 cm. Las barreras fueron sembradas con diez meses de antelación a la realización del ensayo y en el caso del vetiver también fue evaluado con 10 años de establecido. El ensayo comprendió ocho tratamientos: suelo desnudo (D), cultivo sin barrera viva (CSB) y cultivo combinado con barreras vivas de vetiver con 10 años o vetiver recién establecido (VRE), pasto Guatemala (PG), helecho (H), lirio (L) y malojillo (M), con tres repeticiones cada uno para un total de 24 parcelas que conformaban una sola línea en contra de la pendiente. El diseño de experimentos fue un completamente al azar debido a limitaciones físicas del terreno (espacio, pendiente, profundidad, pedregosidad). Como cultivo de cobertura se empleó zanahoria (*Daucus carota*) aplicando el manejo usual de la zona. El factor erosividad de la lluvia (R) de la USLE fue calculado a través de la interacción de la energía total de la lluvia y la máxima intensidad sostenida en 30 minutos (EI30) sobre la base de bandas de precipitación obtenidas mediante un pluviógrafo de registro diario,

realizándose análisis de regresión lineal simple entre los índices de erosividad (variable independiente) y las pérdidas de suelo y agua (variables dependientes). Los factores de longitud de la pendiente (L), gradiente de la pendiente (S), cobertura (C), prácticas de conservación (Pbv) y erosionabilidad (K) se evaluaron en forma similar a los métodos seguidos por Páez y Rodríguez (1989). Las mediciones de pérdidas de suelo y agua se hicieron al final de cada lluvia, expresándolo sobre la base de peso seco y volumen total colectado. El rendimiento del cultivo se determinó pesando la cantidad de producto comercial por bandas de un metro cuadrado, ubicadas a lo largo del perfil topográfico de la parcela. El contenido de humedad fue determinado en forma gravimétrica a distancias de 1,3,5,7 y 9 m de la barrera viva y a dos profundidades (0-15 cm y 15-30 cm) al final del ensayo (15 días luego de la cosecha). La estimación de las pérdidas de fósforo (por colorimetría); potasio y sodio (por fotometría de llama); calcio y magnesio (por absorción atómica) y materia orgánica (por el método de Walkley y Black) se obtuvo analizando una muestra compuesta de sedimentos acumulados durante el período de muestreo. Todos los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza realizándose pruebas de Duncan cuando se detectaron diferencias significativas entre las variables. En el caso de las variables de rendimiento del cultivo y contenido de humedad del suelo, los resultados fueron analizados bajo un diseño de tratamiento factorial con tipo de barrera viva, distancia y profundidad como factores y todas sus posibles interacciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Factores de la USLE y pérdidas de suelo y agua

Los análisis de regresión ($p \leq 0,05$) indicaron que la variación existente en las pérdidas de suelo y agua pudieron ser explicadas en un 48% y 80%, respectivamente por la erosividad de la lluvia. Obviamente, existen otros factores como la susceptibilidad del suelo a la erosión, grado y longitud de la pendiente, cobertura por malezas, prácticas de soporte u otros que pudieran estar influyendo y no fueron considerados en el

modelo.

En las Figuras 1 y 2 puede observarse que las láminas de lluvia iniciales y cercanas o mayores a 30 mm fueron las que ocasionaron las mayores pérdidas de suelo y agua (más del 50 %) debido a que cayeron con alta intensidad (alto EI 30) y al encontrar un suelo seco, sin cobertura, sin buen drenaje ni buena permeabilidad (Abreu y Ojeda, 1984) lo disgregaron y conjuntamente con el volumen de agua promovieron el desprendimiento, arrastre y transporte de las partículas a lo largo de la pendiente, la cual a pesar de ser corta, presentó un gradiente alto (Páez, 1989) promoviéndose el proceso de erosión. A medida que finalizaba el ensayo las pérdidas de suelo se hacían menores debido a la baja susceptibilidad del mismo a la erosión y proliferación de malezas. En cuanto a las láminas iguales o menores a 10 mm, éstas representaron un porcentaje muy bajo dentro de las variables medidas considerándose no erosivas (Páez, 1989). Resultados similares a éstos reportaron Urbina y Rodríguez (1995) en ensayos anteriores.

Es de destacar que la lámina total de agua caída (180,08 mm) que correspondió a una erosividad de la lluvia (EI_{30}) de 443,47 MJ mm/ha.h, representó apenas un 15% del valor promedio reportado por Fernández (1989) para la zona, considerándose muy baja según la clasificación de Páez (1989), debido a un período anormal de sequía influido por el fenómeno de “El Niño”.

El Cuadro 1 reporta los valores promedios de pérdidas de suelo y agua totales corregidos por el factor LS para llevarlos a condiciones estándar, el factor K, C, Pbv y CPbv o eficiencia relativa de cada combinación. Al evaluar las pérdidas de suelo y agua acumuladas en el tiempo (Figuras 3 y 4) se encontraron diferencias entre los tratamientos ($p \leq 0,01$) reportándose las mayores pérdidas para el tratamiento D, mantenido en forma continua sin cobertura y sin una práctica de conservación de suelos y agua. Sin embargo, el tratamiento CSB resultó con menores o iguales pérdidas de suelo y agua que los tratamientos H, L y VRE, posiblemente debido a que dos de sus repeticiones fueron establecidas en un lote de terreno precedido por un barbecho natural donde las condiciones superficiales del suelo no se presentaban tan degradadas a una

mayor proliferación de malezas debido a las condiciones del mismo y a que las barreras vivas de estos materiales vegetativos presentaban una trama y un macollamiento poco compacto para el momento de la evaluación. Quizás por esto, el tratamiento VE resultó con menores pérdidas que los tratamientos M y PG pues a través de los años adquirió una trama y un macollamiento más compacto, presentando apenas un 0,4 y 12 % de las pérdidas de suelo y agua con relación al tratamiento D, y 1,12 y 20% de las pérdidas del tratamiento CSB, demostrando su alta eficiencia en la prevención y reducción de las pérdidas para aumentos de energía erosiva de la lluvia independientemente de la etapa del cultivo. Esto confirma los resultados encontrados por Fernández (1995) y Rodríguez (1995), entre otros, al combinar cultivos con una barrera viva de vetiver con varios años de establecido. Al momento de la evaluación las barreras tenían

diez meses de edad y el ancho no llegaba a 0,50 m, exceptuando al tratamiento VE, que tenía una barrera de diez años y un ancho de aproximadamente 1 m, de ahí que su grado de protección fuese muy alto, seguido de tratamiento PG, quien también tenía diez meses de edad, pero con un ancho mayor a 0,50 m. Esto corroboró lo reportado por Neibling y Alberts (1979) quienes señalan que mientras más ancha sea la barrera mayor es su eficiencia en reducir las pérdidas. El comportamiento de las pérdidas de agua o escorrentía superficial en los tratamientos aplicados fue similar al encontrado para las pérdidas de suelo, pero con una eficiencia menor ya que las barreras vivas son de carácter semi-permeables (Suárez, 1979) y no impiden totalmente el flujo del agua, sino que reducen su velocidad, mejorando con esto la infiltración al mismo tiempo que minimiza su poder erosivo.

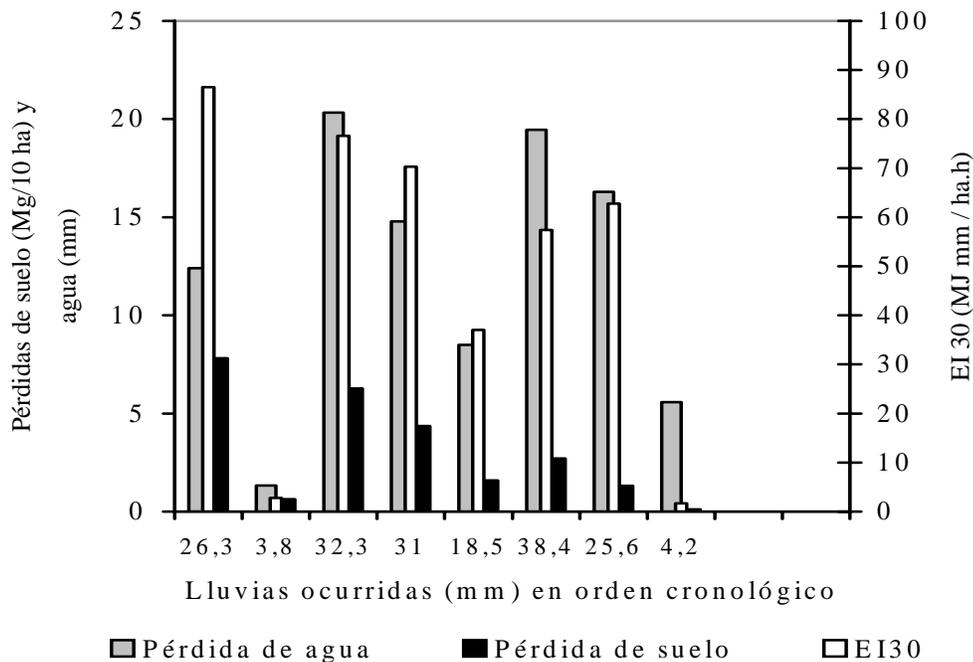


Figura 1. Índice de erosividad (EI30: Interacción de la energía total de la lluvia y la máxima intensidad sostenida en 30 minutos) y pérdidas de suelo y agua ocurridas para cada evento lluvioso en la parcela desnuda.

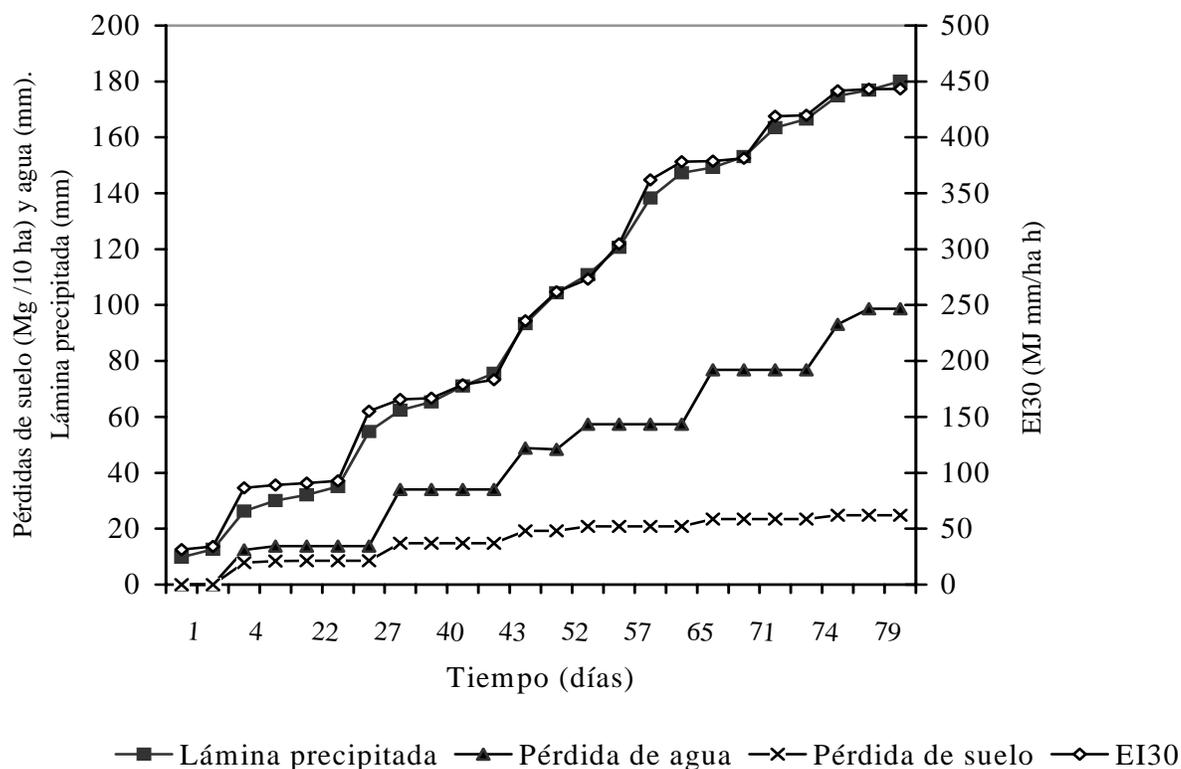


Figura 2. Índice de erosividad (EI30: Interacción de la energía total de la lluvia y la máxima intensidad sostenida en 30 minutos) y pérdidas de suelo y agua acumuladas en el tiempo en la parcela desnuda.

Cuadro 1. Pérdidas de suelo y agua y factores C, Pbr y K para el cultivo de la zanahoria bajo diferentes combinaciones de materiales vegetativos usados como barreras vivas.

Tratamiento	Pérdidas de suelo Mg/ha		Pérdidas de agua		Factor			
	Total Mg/ha	Mg/ha/L.S	mm	%	C	Pbv	C.Pbv	K
D	5,220	2,482	98,66	54,79	1,00	1,00	1,00	0,010
CSB	1,804	0,780	56,70	31,26	0,31	1,00	0,31	-
L	3,003	1,518	74,15	41,16	0,31	1,00	0,31	-
H	2,386	1,290	77,60	43,09	0,31	1,00	0,31	-
VRE	1,713	0,786	61,06	33,92	0,31	1,00	0,31	-
M	1,128	0,763	52,93	29,38	0,31	0,98	0,30	-
PG	1,140	0,477	43,18	23,98	0,31	0,61	0,19	-
VE	0,013	0,009	11,37	6,32	0,31	0,01	0,0031	-

L.S: Factor de corrección basado en la longitud y gradiente de la pendiente

D: Desnuda CSB: Cultivo Sin Barrera M: Malojillo VRE: Vetiver recién establecido
L: Lirio PG: Pasto Guatemala H: Helecho VE: Vetiver Establecido

Pérdida de nutrientes

Las pérdidas de materia orgánica (MO), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na) son un reflejo de las pérdidas absolutas de suelos en los tratamientos (Cuadro 2) pero en el caso del tratamiento M, las pérdidas de MO son numéricamente un poco mayores a

su grupo estadístico, quizás se debe a que el malojillo pierde parte de sus hojas basales, enriqueciéndose aún más el sedimento acumulado. Las mayores pérdidas se producen para MO y Ca, posiblemente debido a un mayor contenido de ambos en el suelo, tal como lo muestran los análisis de suelo que se hicieron al

principio del ensayo. Castillo (1991) y Rodríguez (1993) también reportaron mayores

valores de MO y Ca al evaluar pérdidas de nutrimentos en el mismo lugar.

Cuadro 2. Pérdidas de suelo, MO y algunos nutrimentos ocurridas en las parcelas de erosión en campo bajo lluvia natural y en los distintos tratamientos.

Tratamiento	Sedimentos (kg/ha/L.S.)	MO (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	Na (kg/ha)
D	2482a	117 a	0,44 a	0,45 a	4,92 a	0,39 a	0,04 a
CSB	780 bc	26 b	0,13 a	0,14 bc	1,13 bc	0,10 b	0,01 a
H	1290 b	58 ab	0,23 a	0,25 abc	2,26 bc	0,21 ab	0,02 a
L	1518b	53 ab	0,23 a	0,27 ab	2,78 ab	0,21 ab	0,04 a
M	763 bc	35 b	0,12 a	0,15 bc	1,19 bc	0,13 b	0,05 a
PG	477 bc	17 b	0,08 a	0,06 bc	0,67 bc	0,06 b	0,01 a
VRE	786 bc	33 b	0,12 a	0,14 bc	1,13 bc	0,11 b	0,03 a
VE	9 c	0,3 b	0,01 a	0,001 c	0,02 c	0,002 b	0,00 a
Promedio	1013,3	42,41	0,45	0,45	1,76	0,40	

Medias con la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes. MO, P, K, Mg, Na ($P \leq 0,05$); sedimentos y Ca ($P \leq 0,01$).

Contenido de humedad del suelo

Los resultados obtenidos con relación al contenido de humedad presente en las parcelas de erosión en campo con los diferentes tratamientos, profundidades y distancias son mostrados en el Cuadro 3.

Se detectaron diferencias significativas sólo a nivel de tratamiento ($p \leq 0,05$), no así para distancia, profundidad y sus interacciones (tratamiento por distancia, tratamiento por

profundidad, distancia por profundidad y tratamiento por distancia por profundidad) poniéndose en evidencia el inconveniente que representa tener el suelo sin cobertura y sin una práctica de soporte como la barrera viva, pues ambas preservaron, mejoraron o restauraron las propiedades de suelo evitando su degradación y controlando la erosión, aumentando con esto la capacidad productiva del mismo, (Páez et al., 1992).

Cuadro 3. Contenido de humedad del suelo (%), a dos profundidades y a diferentes distancias de la barrera viva, bajo los diferentes tratamientos, 15 días luego de la cosecha.

Distancia (m)	Profundidad (cm)	Tratamiento								
		D	CSB	L	M	PG	VE	H	VRE	Promedio
1	0-15	9,13	11,13	8,72	10,78	11,68	40,36	17,62	11,52	14,99 A
	15-30	9,51	14,69	15,33	12,61	11,37	10,77	17,67	13,45	13,18 A
3	0-15	10,56	14,84	17,26	15,65	14,08	16,51	15,53	13,42	14,73 A
	15-30	13,14	14,43	16,58	16,78	15,34	16,17	17,07	14,82	15,54 A
5	0-15	15,48	14,58	14,68	14,93	15,16	15,84	16,06	13,91	15,08 A
	15-30	15,39	14,21	15,32	16,67	16,82	17,53	18,46	24,94	17,42 A
7	0-15	15,81	14,87	14,01	14,05	13,81	33,43	7,74	12,68	15,81 A
	15-30	14,38	15,61	14,77	16,02	15,24	19,82	18,13	16,51	16,26 A
9	0-15	11,39	10,09	14,96	12,43	14,67	15,68	16,79	14,77	13,85 A
	15-30	10,44	13,75	14,20	12,71	15,92	17,55	15,85	19,36	14,97 A
Promedio		12,61b	13,82b	15,42b	14,21b	14,44b	20,36a	16,02b	15,44b	

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P \leq 0,05$). Letras mayúsculas y minúsculas para las comparaciones entre filas y columnas, respectivamente.

El menor contenido de humedad se registró en el tratamiento D, en el cual ocurrieron

también las mayores pérdidas de suelo y agua, seguido de CSB. El mayor contenido de

humedad lo presentó la parcela cultivada que tiene el tratamiento VE conservando respectivamente, 1,6 y 1,4 veces más de humedad que los nombrados. Estos resultados concuerdan con los reportados anteriormente por Bhardwaj (1996) encontrando que las barreras de vetiver conservaron la humedad del suelo en 20% aproximadamente. Con anterioridad se mencionó la existencia de diferencias no significativas en el contenido de humedad presente a diferentes profundidades y distancias. Sin embargo, en todos los tratamientos se observó que hubo un menor contenido de humedad en los primeros centímetros del suelo, debido a que bajo condiciones generales de campo el suelo va perdiendo humedad por procesos de evapotranspiración y drenaje, quedando los macroporos llenos con aire y los microporos parcialmente llenos de agua (Casanova, 1991). Con respecto al contenido de humedad a diferentes distancias del perfil topográfico de las parcelas, en todos los tratamientos hubo un menor contenido de humedad en el primer y último metro, lo cual se podría atribuir al consumo de agua por parte de las plantas que conformaron la barrera viva y a un menor contenido de arcilla en la parte final de la parcela (aguas arriba), producto del proceso selectivo de la erosión hídrica que se desarrolló en estas parcelas a lo largo del tiempo.

Rendimiento del cultivo

En el Cuadro 4 aparecen los rendimientos totales y por unidad de superficie del cultivo de zanahoria, los cuales se obtuvieron en las parcelas de erosión en campo bajo los tratamientos de barrera y sin barrera viva. El rendimiento no mostró diferencias significativas entre tratamientos ni entre la interacción (tratamiento por distancia); sin embargo, el mayor valor correspondió al tratamiento L, seguido de VE y posteriormente CSB. Con relación al rendimiento obtenido a diferentes distancias de la barrera o parte final de la parcela en caso de no tener barrera viva, se detectaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) entre ellas. Las pruebas de medias señalaron que el mejor rendimiento se obtuvo a una distancia de 4 m, siendo estadísticamente igual a las distancias de 5, 6, 3, 2 y 7 m. Este grupo superó ampliamente al conformado por los rendimientos

obtenidos a 1, 8 y 9 m. A una distancia de 1 m de la barrera viva, el mejor rendimiento lo obtuvo la parcela con el tratamiento L seguida en orden decreciente por H, VE, VRE, CSB, M y PG, lo cual se presume fue consecuencia del tamaño (altura), patrón y distribución espacial de las raíces de la barrera viva, junto con el contenido de humedad, materia orgánica y nutrimentos del suelo que influyen directamente en el rendimiento del cultivo. La barrera viva de lirio alcanzó menos de 60 cm y su sistema radical es adventicio y de poca profundidad (Rosse, 1990; Andrade, 1998), así que no produce sombreado en el cultivo y el grado de interacción con el sistema radical del cultivo, es muy bajo, disminuyendo con esto los riesgos de competencia por exploración del suelo, consumo de agua y nutrimentos. Similar situación se observó con el helecho (Gola et al., 1965; Andrade, 1998) pero en el caso de la parcela sin barrera, además de que no existe competencia de ningún tipo, ayudó que el suelo presentaba excelentes condiciones, pero que con el tiempo se pueden ir perdiendo si no se cuenta con prácticas antierosivas.

Tscherning et al. (1995) estudiando el patrón y distribución espacial de las raíces de yuca (*Manihot sculenta* Crantz) junto con las de vetiver, malojillo y pasto Guatemala usadas como barreras vivas, encontraron que a causa de su crecimiento vertical y su débil tendencia a ramificarse, las raíces de vetiver raramente se mezclaron con las raíces de yuca, manifestándose una gran separación en la exploración del suelo por las dos plantas. En contraste, la profusa extensión vertical y horizontal de las raíces del pasto Guatemala y la yuca indicaron una exploración conjunta del volumen del suelo. En el caso del sistema malojillo y yuca se observó un patrón intermedio. Esto reflejó claramente la diferencia entre los rendimientos de zanahoria obtenidos en los diferentes tratamientos cuando fue evaluado el primer metro. La diferencia en el patrón y dinámica del crecimiento de las raíces de las barreras utilizadas (Andrade, 1998) sugiere que los diferentes grados de interacción de las mismas generan competencia por agua, nutrimentos y volumen de suelo explorado. Además de la competencia que se puede generar por la interferencia de raíces y la disminución de

la humedad en el suelo, el sombreado ocasionado por barreras vivas también va en detrimento del rendimiento del cultivo. Andrade (1998), al comparar el crecimiento y desarrollo morfológico de la parte aérea de barreras vivas, encontró que el pasto Guatemala, alcanzó mayores valores, seguido del malojillo, vetiver, quizás por esto se observó que a medida que las observaciones se tomaron más lejos

de la barrera viva, el rendimiento aumentó hasta que llegó a un punto donde empezó a decaer, debido posiblemente a la disminución de la fertilidad química, física y biológica del suelo ocasionada por el proceso erosivo que ocurre con mayor intensidad aguas arriba de la parcela, registrándose los menores rendimientos en todos los tratamientos a la distancia de 8 y 9 m.

Cuadro 4. Rendimientos (kg/m^2) unitarios promedios y totales del cultivo de la zanahoria en las parcelas de erosión en campo en función de la distancia y tratamientos de barreras vivas.

Distancia* (m)	Tratamientos							Prom
	CSB	L	M	PG	VE	H	VRE	
1	3,367	5,580	2,880	1,767	4,283	5,217	3,533	3,804b
2	7,133	6,016	4,650	4,267	6,250	5,433	4,883	4,821a
3	5,975	6,908	5,390	4,733	5,867	5,450	6,150	5,782a
4	7,100	6,767	5,942	5,617	6,758	5,917	5,033	6,162a
5	6,417	6,208	7,350	4,833	7,025	6,280	3,550	5,952a
6	4,233	5,900	5,967	5,417	7,033	5,480	6,633	5,801a
7	4,230	4,067	3,317	3,517	5,167	5,783	6,170	4,607a
8	2,567	2,417	3,633	1,283	0,850	1,917	0,000	1,810b
9	2,117	1,117	1,230	0,917	0,000	0,000	0,000	0,769b
Total	43,14a	44,98a	40,36a	32,35a	43,23a	41,48a	35,95a	

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P \leq 0,01$). Letras mayúsculas y minúsculas para las comparaciones entre filas y columnas, respectivamente.

*Distancia a la barrera viva o parte final de la parcela de erosión (aguas abajo)

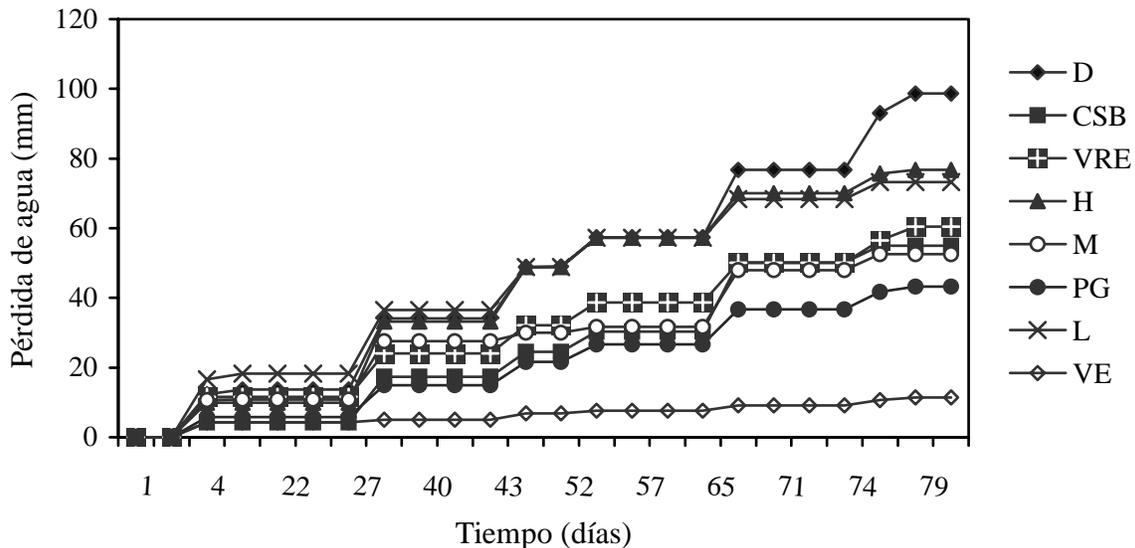


Figura 3: Pérdidas de suelo acumuladas en el tiempo, en las parcelas de erosión bajo los diferentes tratamientos (D: desnuda, CSB: cultivo sin barrera, VRE: Vetiver recién establecido, H: helecho, M: malojillo, PG: pasto Guatemala, L: lirio, VE: Vetiver establecido)

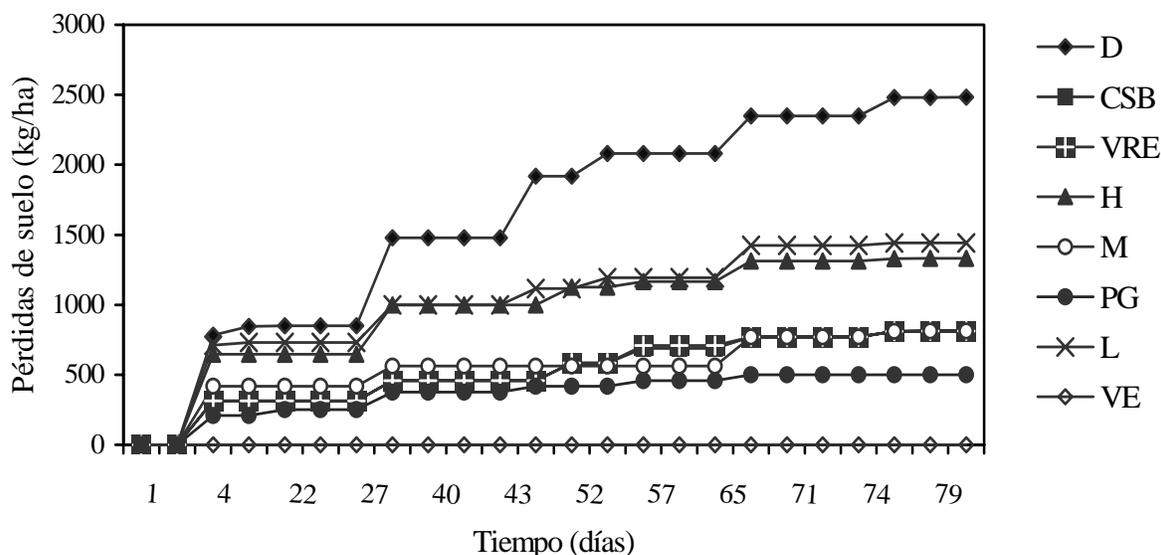


Figura 4: Pérdidas de agua acumuladas en el tiempo, en las parcelas de erosión bajo los diferentes tratamientos (D: desnuda, CSB: cultivo sin barrera, VRE: Vetiver recién establecido, H: helecho, M: malojillo, PG: pasto Guatemala, L: lirio, VE: Vetiver establecido)

Los resultados obtenidos demuestran que el uso de barreras vivas en las explotaciones agrícolas requieren de manejo adecuado por parte del productor, tales como podas periódicas que generan beneficios adicionales (Skerman y Riveros, 1992; Banco Mundial, 1995) y disminuyen el efecto de sombreado en el cultivo. Este mantenimiento es de fácil aplicación y de bajo costo si se compara con el que tendría que darse si se tuviera una práctica antierosiva de tipo ingenieril o mecánica, las cuales son más costosas y de aplicación técnica más compleja (Gupta, 1992; Roose, 1993).

CONCLUSIONES

La erosividad de la lluvia (R) durante el período de cultivo fue de 443,47 unidades, cifra muy baja para el valor promedio de la zona. La erosionabilidad del suelo (K) fue de 0,010, considerada como moderadamente baja su susceptibilidad a la erosión. El grado de la pendiente (S) aumentó considerablemente las pérdidas de suelo y agua. El valor CP para el cultivo (0,31) representó un bajo grado de protección al suelo contra la erosión, interactuando con el grado de la pendiente, uso previo del terreno y uso de barrera vivas.

La barrera viva más eficiente en reducir las pérdidas de suelo, agua, materia orgánica,

nutrimentos, en mantener un mayor contenido de humedad en el suelo e incrementar ligeramente el rendimiento en el cultivo fue el vetiver con diez años de establecido ($P_{bv} = 0,01$), no descartándose el uso de pasto Guatemala, malojillo, lirio o helecho, los cuales pudieran mejorar su eficiencia si se establecen y desarrollan durante mayor tiempo, si se le da una mayor anchura a la barrera o si se combinan en forma alterna con otras barreras vivas más eficientes a lo largo de la pendiente.

No hubo diferencias entre tratamientos con relación al rendimiento del cultivo, pero sí entre la distancia a la barrera. Los mayores rendimientos fueron obtenidos a distancias superiores a un metro de la barrera viva, con tendencias a disminuir aguas arriba de la parcela de erosión.

LITERATURA CITADA

1. Andrade, O. 1998. Evaluación de la eficiencia de barreras vivas como sistemas de conservación de suelos en ladera. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 83 p.
2. Abreu, X. y E. Ojeda. 1984. Los suelos de la estación experimental Bajo Seco. Cotas 1720-1900 msnm. Estudio Agrológico

- Especial. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 204 p.
3. Banco Mundial. 1995. Vetiver, la barrera contra la erosión. Banco Mundial. Washington, D.C. 78 p.
 4. Bhardwaj, S. P. 1996. Comparative study of hedgerow of vetiver and other grasses with mechanical measures on erosion losses at 4% runoff plots. I International Conference of Vetiver: a miracle grass. The Chaipattana Foundation, the Mae Fah Luang Foundation and the Royal Development Projects Board. Chiang Rai, Thailand. Abstract p. 67.
 5. Casanova, E. 1991. Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas.
 6. Castillo, M. 1991. Evaluación de sistemas de conservación de suelos y aguas en áreas montañosas bajo cultivo de papa, durazno y otras coberturas permanentes. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 76 p.
 7. FAO. 1977. Assessing soil degradation. Boletín de Suelos. N° 34. Roma. 84 p.
 8. FAO. 1985. Directivas y evaluación de tierras para la agricultura en secano. Boletín de Suelos. N° 52. Roma. 228 p.
 9. Fernández, N. 1989. Evaluación de prácticas de conservación de suelos en cultivos hortícolas. Revista de la Facultad de Agronomía (UCV). Alcance 37: 87-96.
 10. Fernández, N. 1995. Evaluación de prácticas de conservación de suelos y aguas en cultivos hortícolas (repollo y coliflor). Revista de la Facultad de Agronomía (UCV). Alcance 47: 1-12.
 11. Gola, G., G. Negri y C. Capelletti. 1965. Tratado de Botánica. Editorial Labor. Barcelona.
 12. Gupta, R. 1992. Role of grasses in soil and water conservation under different agroecological conditions in India with special reference to *Vetiveria zizanioides*. 7th International Soil Conservation Conference. Sydney, Australia. pp. 404-412.
 13. Neibling, W. y E. Alberts. 1979. Composition and yield of soil particles transported through sod strips. Winter Meeting of American Society of Agriculture Engineering. Chicago, Illinois. 10 p.
 14. Páez, M. L. 1989. Riesgos de erosión hídrica y alternativas de conservación en las tierras agrícolas del Valle Medio del Yaracuy. Revista de la Facultad de Agronomía (UCV). Alcance 37:113-136.
 15. Páez, M. L. y O. Rodríguez. 1989. Factores de la ecuación universal de pérdidas de suelo en Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía (UCV). Alcance 37: 21-31.
 16. Páez, M. L., N. Fernández y O. S. Rodríguez. 1992. Manual de Conservación de Suelos y Aguas. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay.
 17. Rodríguez, O., N. Fernández y A. Fernández. 1989. Evaluación de tres índices de erosividad en relación a las pérdidas de suelo y agua en un Aquic Paleudult. X Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maturín, Venezuela. 12 p.
 18. Rodríguez, O. 1993. Evaluación de coberturas, barreras vivas y otras medidas de conservación de suelos en laderas. Trabajo de Ascenso. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 133 p.
 19. Rodríguez, O. 1995. Barreras vivas y coberturas como alternativas de conservación en laderas. XIII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maracay, Venezuela. Resúmenes pp. 63-64.
 20. Roose, E. 1977. Erosion et ruissellement en

- Afrique de L'Quest. Vingt années de mesures en petites parcelles experimentales. Travaux et document de L'Orstom. Orstom. París. 108 p.
21. Rosse, E. 1990. Guía de Bulbos. Ediciones Grijalbo. Barcelona.
 22. Roose, E. 1993. Agroforestry, water and soil fertility management in african tropical mountains. Conferencia en el Taller sobre Procesos de Erosión en Tierras de Altas Pendientes. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida, Venezuela. 28 p.
 23. Sherman, P. y F. Riveros. 1992. Gramíneas Tropicales. FAO. Roma.
 24. Sivaraj, T. 1996. Impact of growing vetiver grass on the water holding capacity and moisture percentage of soil in Wasteland. International Conference of Vetiver: A Miracle Grass. The Chaipattana Foundation, the Mae Fah Luang Foundation and the Royal Development Projects Board. Chiang Rai, Thailand. Abstracts p.58.
 25. Suárez de Castro. 1979. Conservación de Suelos. Inst. Interamericano de Cooperación Agrícola. San José, Costa Rica. 315 p.
 26. Sur, H. y I. Sandhu. 1996. Studies on the establishment of vegetative barriers and their effect on erosion control and crop yield. International Conference of Vetiver: A Miracle Grass. The Chaipattana Foundation, the Mae Fah Luang Foundation and the Royal Development Projects Board. Chiang Rai, Thailand. Abstracts p.77.
 27. Tscherning, K., D. Leihner, T. Hilger, K. Muller-Sâmman y M. El Sharkawy. 1995. Grass barriers in cassava hillside cultivation: rotting patterns and root growth dynamics. Field Crops Research 43: 131-140.
 28. Urbina, C. y O. Rodríguez. 1995. Evaluación de sistemas de conservación en tierras altas bajo cultivo de trigo. Revista de la Facultad de Agronomía (UCV). Alcance 47: 75-88.
 29. Wischmeier, W. y Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. U.S. Department of Agriculture. Washington D.C.