

EVALUACION DEL MATERIAL EN SUSPENSION EN EL AGUA DE RIEGO POR SURCOS BAJO LAS CONDICIONES DE SAN JUAN DE LAGUNILLAS, ESTADO MERIDA

Gladys I. R. de Solárzano*

FONAIAP : Estación Experimental Mérida Apdo. 425. Mérida 5001. Venezuela.

RESUMEN

La finalidad de este trabajo fue evaluar el efecto erosiva del riego por surcos en un área semiárida 'de San Juan de Lagunillas, estado Mérida-Venezuela. Se ensayaron cuatro caudales con salida de agua al pie (0,5; 1,0; 1,5 y 2,0 VS), en surcos de 40 m de longitud en tres pendientes diferentes. Los resultados obtenidos no permitieron ajustar, a ningún tipo de curve, el comportamiento irregular del proceso. EL efecto erosiva del agua en el surco, a pesar de incrementarse en función del caudal y de la pendiente, no es significativo en la práctica del riego en el área estudiada, si se diseña adecuadamente el método en cuanto a longitud, pendiente de los surcos y caudal a aplicar.

P C Erosión por agua de riego. Erosión en surcos

INTRODUCCION

La introducción de cultivos hortícolas en los Andes venezolanos ha permitido la realización de explotaciones intensivas, basándose en un mayor control de humedad del suelo, el cual permita compensar el déficit de precipitación en determinados periodos del año garantizando así la producción.

Aunque la precipitación pluvial es significativa, el riego complementario en los valles semiáridos del estado Mérida constituye una práctica antigua, por ser la única forma de sustentar algún tipo de agricultura en este media. Este es el caso del área regada de San Juan de Lagunillas, en este mismo estado, al cual se refiere el presente trabajo.

En condiciones topograficas donde predominan los planos inclinados, fuertemente cortados por cauces naturales, no es posible regar por surcos largos convencionales las pendientes de 396 a 12°6, existentes en el área, producirían al regar una fuerza altamente erosiva y el consiguiente movimiento

de materiales. Este efecto se amortigua cambiando la dirección de los surcos respecto a la máxima pendiente y regulando al caudal a aplicar, es decir, diseñando apropiadamente el método de riego.

Las limitaciones existentes en cuanto al suministro de agua, la cual no queda garantizada por los turnos de riego existentes, inducen a los usuarios del sistema de riego bajo estudio a tratar de aplicar el agua en la mayor área y durante el menor tiempo posible. En determinados casos se utilizan caudales que producen escurrimientos de agua a la salida de los surcos, produciéndose así pérdidas de suelo como consecuencia del efecto erosivo.

REVISION DE LITERATURA

La erosión es el resultado de muchas fuerzas interrelacionadas que producen la degradación de la pendiente, tales como: caudal en el surco, rugosidad, tamaño de las partículas de suelo, etc. La erodabilidad de un suelo no sólo depende de sus características físicas, sino también de la velocidad con que el agua se mueve en el surco; generalmente la máxima erodabilidad la presentan los suelos no cohesivos en los que predominan las partículas de arena y limo (2).

MECH y SMITH (9) señalan que la erosión producida por el agua de riego puede ser debida a la concentración incontrolable de agua de desagüe, al excesivo flujo de agua en los surcos, y más aún cuando el suelo es suelto y transportable. En el riego por surcos se produce erosión y depósito de materiales, tanto en el mismo cauce como fuera de él. Cuando el caudal aplicado supera levemente la capacidad de infiltración del surco, el sedimento producido como consecuencia del proceso erosivo en el tercio superior se deposita en el tercio inferior del mismo; pero si el caudal es mucho mayor, hay pérdidas al final del surco las cuales transportan material en suspensión al drenaje. Colector. El máximo grado de erosión tiene lugar donde el flujo es mayor y en los surcos de riego, esto se produce en la parte más alto. Prácticas como rotación de cultivos e incorporación de materia orgánica, generalmente aumenta la infiltración, lo que requiere un aumento del flujo de agua en el Surco, aunque esto puede incrementar el riesgo de erosión (9).

Varios investigadores han expresado que la erosión tiene lugar al iniciarse el riego, sin embargo, MECH (1949), citado por MECH y SMITH (9), presentó datos mostrando que la mayor erosión tiene lugar 34 horas después de haberse iniciado el riego y que después de la cuarta hora su efecto es prácticamente nulo, aunque el flujo en el surco experimenta un lento crecimiento a causa de la disminución de la infiltración

TRASK y CLOSE, citados por MECH y SMITH (9), demostraron que la masa de suelo ofrece una resistencia decreciente a la erosión cuando la unión entre partículas se debilita por el incremento en el contenido de agua. En general, el mayor movimiento de material ocurre en el primer riego, después de la realización de las labores de preparación de tierras, que es cuando el suelo está más suelto y expuesto al arrastre. En los riegos subsiguientes el peligro de erosión disminuye.

Según MARR (8) la erosión puede ser producida en surcos con pendientes fuertes por efecto del flujo que transportan, debiendo, por lo tanto, determinarse el máximo flujo que puede ser aplicado en un surco. Para pendientes entre 0,1 y 0,3% la erosión es insignificante; para pendientes de 0,5% y capacidad de 2 a 3 l/s puede ocurrir erosión, a menos que se ajuste el caudal al mínimo de capacidad.

BOOHER (2) señala que el modo más eficaz para aplicar el agua es con surcos de pendientes uniformes, de lo contrario, darán lugar a profundidades no uniformes del tirante de agua a lo largo de los surcos, provocando erosión en las partes más pendientes y deposición en las más bajas. Si el fondo es plano a lo largo del surco, como sucede frecuentemente en surcos cortos, la pendiente de la superficie del agua dará el gradiente hidráulico necesario para que el agua fluya. La pendiente del fondo del surco facilita también el drenaje del exceso de agua de la superficie del terreno.

Para GRASSI (5) la pendiente aceptable a los fines del riego por superficie depende de la fuerza erosiva del caudal utilizado, el cual a su vez depende del peso específico del agua, del tirante del agua en el surco y de la pendiente. Por su parte, ISRAELSEN y HANSEN (6) informan que la forma del surco tiene influencia en el proceso erosivo señalado que los cauces rectangulares de fondo plano, en pendientes de 3% o menos,

dan lugar a una erosión que los de forma de V.

Las pérdidas de suelo aceptables, ocasionadas por efecto de las lluvias, están comprendidas entre el rango de 5 a 12,5 t/ha (11). BERG y CARTER (1) estimaron que las pérdidas causadas por erosión en surcos de riego oscilan entre 0,5 y 141 t/ha/estación, en pendientes que van de 1,0 a 5,0% y caudales de 0,2 a 0,831/s. La erosión aumenta drásticamente cuando la pendiente es superior al 1% y la cobertura vegetal disminuye LEWIS y LEPELE (7), realizaron estudios sobre la pérdida de suelos y su cuantificación, basándose en la distribución de arcilla en los horizontes del perfil y su posterior comparación con pedones libremente erodados de la misma serie de suelos. EL espesor y área que no hubiese sido erodados fueron utilizados para calcular el peso y volumen de suelo removido, así como también el volumen y peso de sedimento remanente en el desagüe. Este método sugiere una vía para mapear unidades de suelo y su susceptibilidad o grado de erosión.

Posteriormente, OLSEN y BEAVERS (10) desarrollaron un espectrógrafo (Rayos X), para cuantificar pérdidas de suelo por erosión. El método relaciona el espesor del horizonte argílico en suelos que han sufrido una erosión acelerada, por lo que sólo puede ser utilizado en algunos órdenes de suelo.

CARTER y BERG (3) idearon un sistema de tubos enterrados con entradas superficiales a intervalos, el cual funciona como un disipador de la energía erosivo común en surcos de riego. Este sistema funcionó como colector de agua de cola, redujo problemas de malezas y otras asociaciones con excesos de humedad, además, es duradero, fácil de instalar y maniobrar. En un trabajo posterior los mismos autores (4) evaluaron el efecto de la erosión y del proceso de deposición del material en los rendimientos de los cultivos; encontraron que los rendimientos de las cosechas disminuyeron drásticamente en las áreas donde hubo mayor erosión y aumentaron levemente donde hubo deposición de sedimentos. A raíz de estos estudios desarrollaron una ecuación para estimar los rendimientos en función del espesor de la capa superficial.

MATERIALES Y METODOS

EL presente trabajo se realizó en una parcela del Sistema de Riego EL Estanquillo, municipio San Juan, distrito Sucre del estado Mérida, a 8°30' de latitud Norte y a 71°20' de longitud Oeste y a 1100 msnm.

Basándose en un levantamiento topográfico se delimitaron tres parcelas experimentales con pendientes comprendidas entre 0,5 y 1,5%. Se trazaron surcos de 40 m de longitud y 1,0 m de espaciamiento, a las cuales se aplicaron caudales variables entre 0,5 y 2,01/s.

Para derivar el caudal de agua necesario se utilizó una acequia de cabecera y sifones de 1" de diámetro

Fueron aplicados tres riegos de asiento con el fin de obtener las condiciones de aspereza de los surcos similares a la de la mayoría de los riegos del área experimental.

Las variables analizadas en el campo fueron: caudal de entrada, Q_e y pendiente del terreno SO

Las mediciones realizadas fueron: caudal de entrada Q_e , y caudal de salida Q_s en l/s, material transportado en el flujo de salida para diferentes tiempos acumulados en g/l.

Los caudales de entrada (Q_e) se seleccionaron entre aquellos que presentaban escurrimiento de agua al pie de los surcos, esto es, $Q_e = 0,5 \text{ l/s}, 1,0 \text{ l/s}, 1,5 \text{ l/s}, 2,0 \text{ l/s}$. Las pruebas se realizaron en surcos trazados con pendientes de 0,93%, 1,08% y 1,34%, cuya forma se aproxima a la sección parabólica, una vez conformados por el efecto del flujo del agua.

Al pie de cada surco se instaló un aforador Ballofet, donde se tomaron lecturas del caudal salido y, simultáneamente, muestras de agua de 200 cm³ para determinar el material en suspensión en los tiempos acumulados de 2, 5, 10, 20, 35, 60, 90 y 120 min de iniciada la prueba. En correspondencia con estas mediciones, se tomaron muestras a fin de determinar el posible material en suspensión ingresado al surco y corregir así los cálculos anteriores. El agua de las muestras se evaporó en estufa a 104°C y por gravimetría se determinó la cantidad del material en suspensión en el caudal salido (Cuadro 1).

Los datos de concentración de sedimentos en gramos/litro (g/l) fueron transformados en función del caudal salido y el tiempo de tal forma que: Concentración (g/l) Q_s (l/s) 60 (s/min) = Peso de sedimento (g/min).

En los Cuadros 2, 3 y 4 se incluyen los valores promedios de concentración de sedimento obtenidos a tiempos acumulados desde 010 min a 0120 min.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores puntuales de concentración de sedimentos denotan bruscos cambios en la salida de material de los surcos, tanto para los distintos tratamientos de pendiente y caudal como a través del tiempo de cada ensayo.

En general, la cantidad de material erodado aumenta con el caudal y la pendiente y disminuye a medida que transcurre el tiempo. Sin embargo, los valores instantáneos obtenidos no permitieron ajustar ningún tipo de curva debido al comportamiento irregular del proceso.

Para expresar, por lo menos, las tendencias en cuanto al efecto erosivo del riego, se recurrió a representar gráficamente los valores puntuales correspondientes a los períodos de tiempo acumulados siguientes: 010 min, 020 min, 035 min, 060 min, 090 min, 0120 min (Fig. 1).

A fin de analizar las posibles consecuencias del riego en cuanto a la conservación de los suelos del área, se estimó la incidencia anual del efecto erosivo medido con diferentes caudales y pendientes. Se consideró para ello un riego hipotético, promedio, con una frecuencia de siete días y el tiempo de 120 min para reponer una lámina neta entre 5 y 6 cm, durante unos siete y media meses por año, lo que además coincide con alternativas de diseño planteadas en el presente trabajo.

Los resultados del Cuadro 5 evidencian para el caudal de 1,5 l/s pérdidas de material, al final de los surcos, de 21,6, 18,72 y 34,08 t/ha/año, que

CUADRO 1. Concentración de sedimentos en g/l y g/min a la salida del surco en función del tiempo para cuatro caudales de entrada y tres valores de pendiente.

		Tiempo en Minutos							
		Pendiente 2,093%	5	10	20	35	60	90	120
Qe: 0,51/s	(g/l)	0,172	0,170	0,120	0,115	0,100	0,070	0,045	0,040
	Qs (l/s)	0,135	0,175	0,175	0,175	0,260	0,260	0,260	0,280
	g/min	1,393	1,785	1,260	1,210	1,560	1,092	0,702	0,672
Qe: 1,01/s	(g/l)	0,645	0,335	0,305	0,185	0,155	0,095	0,005	0,004
	Qs (l/s)	0,106	0,135	0,166	0,177	0,212	0,212	0,212	0,212
	g/min	4,100	2,714	3,038	1,965	1,972	1,208	0,064	0,051
Qe: 1,51/s	(g/l)	1,040	0,745	0,575	0,345	0,205	0,155	0,300	0,095
	Qs (l/s)	0,776	0,909	0,927	0,927	0,927	0,927	0,927	0,925
	g/min	48,420	40,630	31,980	19,150	11,400	8,620	16,686	5,560
Q2: 2,01/s	(g/l)	1,195	0,745	1,27	0,345	0,310	0,095	0,195	0,095
	Qs (l/s)	1,300	1,400	1,420	1,450	1,500	1,500	1,500	1,500
	g/min	93,210	62,580	108,204	29,601	27,900	8,550	17,550	8,835
Pendiente: 1,08%									
Qe: 0,51/s	(g/l)	0,140	0,135	0,130	0,115	0,090	0,085	0,020	0,010
	Qs (l/s)	0,130	0,155	0,175	0,175	0,175	0,202	0,230	0,230
	g/min	1,092	1,255	1,365	1,207	0,945	1,030	0,276	0,138
Q2: 1,01/s	(g/l)	0,770	1,100	0,905	0,215	0,140	0,240	0,090	0,040
	Qs (l/s)	0,115	0,145	0,170	0,200	0,248	0,248	0,248	0,248
	g/min	5,313	9,570	9,231	2,580	2,083	3,570	1,339	0,595
Qe: 1,51/s	(g/l)	0,635	0,840	0,190	0,225	0,450	0,130	0,090	0,065
	Qs (l/s)	0,730	0,900	0,980	1,120	1,125	1,250	1,250	1,250
	g/min	27,813	45,360	11,170	15,120	33,750	9,750	6,750	4,875
Qe: 2,01/s	(g/l)	0,940	0,420	0,455	0,355	0,190	0,050	0,130	0,065
	Qs (l/s)	0,950	1,180	1,300	1,380	1,550	1,600	1,600	1,600
	g/min	53,580	29,730	35,490	29,390	17,670	4,800	12,480	6,240
Pendiente: 1,33%									
Qe: 0,51/s	(g/l)	0,265	0,265	0,255	0,230	0,110	0,130	0,080	0,060
	Qs (l/s)	0,400	0,800	0,800	0,100	1,000	1,000	1,000	1,200
	g/min	6,360	12,720	12,240	13,800	6,600	7,808	5,280	4,320
Qe: 1,01/s	(g/l)	0,670	0,425	0,390	0,335	0,205	0,240	0,210	0,130
	Qs (l/s)	0,240	0,248	0,248	0,260	0,286	0,299	0,299	0,299
	g/min	9,648	6,324	5,800	5,226	3,510	4,305	3,767	2,332

	(g/l)	1,470	1,045	0,945	0,635	1,435	0,660	0,390	0,143
Qe: 1,51/s	Qs (l/s)	0,560	0,650	0,770	0,850	0,085	0,850	0,850	0,900
	g/min	40,392	40,755	43,659	32,385	73,185	33,660	19,890	7,830

	(g/l)	3,640	6,695	6,150	2,150	1,915	0,565	0,450	0,250
Qe: 2,01/s	Qs (l/s)	0,820	0,850	1,120	1,120	1,120	1,300	1,360	1,350
	g/min	179,088	341,445	413,280	144,480	128,628	44,070	35,100	190,6000

CUADRO 2. Promedio de valores puntuales de sedimento en el caudal de salida en g/min, para cuatro caudales de entrada y pendiente de 0,93%.

T (min)	0,5 1/s	1,0 1/s	1,5 1/s	2,0 1/s
(0 10)	1,48	3,28	40,34	87,99
(0 20)	1,41	2,95	35,05	73,39
(0 35)	1,44	2,76	30,32	64,30
(0 60)	1,38	2,50	26,71	55,01
(0 90)	1,29	2,15	25,27	49,66
(0 120)	1,21	1,89	22,81	44,55

CUADRO 3.. Promedio de valores puntuales de sedimento en el caudal de salida en g/min, para cuatro caudales de entrada y pendiente de 1,08%.

T (min)	0,5 1/s	1,0 1/s	1,5 1/s	2,0 1/s
(0 10)	1,24	8,04	28,11	39,60
(0 20)	1,23	6,67	24,86	37,05
(0 35)	1,17	5,76	26,64	33,17
(0 60)	1,15	5,39	23,83	28,44
(0 90)	1,02	4,81	21,39	26,16
(0 120)	0,91	4,28	19,32	23,67

CUADRO 4. Promedio de valores puntuales de sedimento en el caudal de salida en g/min, para cuatro caudales de entrada y pendiente de 1,33%.

T (min)	0,5 1/s	1,0 1/s	1,5 1/s	2,0 1/s
(0 10)	10,44	7,26	44,60	
(0 20)	11,28	6,75	41,55	269,57
(0 35)	10,34	6,10	47,87	241,40
(0 60)	9,92	5,80	45,51	208,51
(0 90)	9,26	5,51	41,85	183,73
(0 120)	8,64	5,12	37,59	163,21

CUADRO 5. Cantidad de sedimento expresado en lámina (cm) que produce una hectárea de suelo durante un tiempo de riego acumulado de 3 840 min/año.

So %	Cantidad promedio de sedimento a 120 min (g min ⁻¹ 40 m ⁻²)	Peso (kg/m ² /año)	Peso (kg/ha /año)	Vol. (m ³)	Espesor (cm)
0,93	22,50	2,160	21 600,00	18,00	0,180
1,08	19,50	1,872	18 720,00	15,60	0,156
1,34	35,50	3,408	34 080,00	28,40	0,284

* los datos fueron tomados de la Figura 1 para un caudal de 1,5 Vs.

equivalen, aproximadamente, a espesores de 1,80, 1,56 y 2,84 mm, para las pendientes de 0,93%, 1,08% y 1,33%, respectivamente.

Los valores que anteceden de pérdidas en t/ha/año superan los límites aceptables en condiciones bajo lluvia, lo que implica la necesidad de tomar previsiones especiales al diseñar el riego por surco, particularmente en cuanto a dirección, pendiente, longitud y caudal, con el propósito de reducir al mínimo el desagüe al final del surco.

Si bien existen en la zona surcos con mayores pendientes y caudales superiores a los ensayados, hay que destacar que, por lo general, el regador controla el agua durante el riego, interceptando total o parcialmente el flujo y el escurrimiento al pie y, por ende, la erosión.

En las condiciones del clima de la zona, las reducidas precipitaciones posiblemente no permitan, en surcos cortos, una concentración mayor de agua que los caudales utilizados en los ensayos, por lo que tampoco es de esperar efecto erosivo notable, como resultado de las lluvias en terrenos apropiadamente sistemizados para riego.

CONCLUSIONES

1. El material en suspensión en el agua de cola en surcos de riego, en las condiciones de la experiencia, no se ajusta a ningún tipo de curva que permita representarlo, debido a que es irregular y evidencia bruscos cambios en la cantidad de material en cualquier tiempo a partir del inicio del riego.
2. La cantidad de material en suspensión decrece con el tiempo hasta alcanzar valores casi constantes en todos los casos estudiados. Estas diferencias son más notables al aumentar el caudal.
3. Si bien el efecto erosivo medido tiene alguna significación, comparativamente con los límites aceptables en condiciones bajo lluvia, cabe destacar que en riego por surcos, apropiadamente diseñados, dicho efecto es controlable y así lo evidencian algunas prácticas rudimentarias que se usan en la zona.
4. De acuerdo a los caudales comúnmente empleados y rangos de pendiente existentes en el área, es recomendable el uso de caudales pequeños, menores de 1,0 l/s y surcos de longitud comprendida entre 40 a 50 m de longitud, de tal manera que no se produzcan excesos de agua de cola a fin de que el posible material erodado permanezca en las áreas cultivadas.

SUMMARY

The purpose of this research was to assess the erosive effect of irrigation through furrows in a semiarid area of San Juan de Lagunillas, Mérida state, Venezuela. Studies were done on the erosive effect of four volumes and water exit at the end (0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 Vs), in furrow 40 meters long, and three different slopes. The results did not allow to fit, at any type of curve, the irregular behavior of the process. The water erosive effect in the furrow, in spite of its increase with the volume and the slope, is not significant in the irrigation practice in the studied area.

K.W.: Erosion by irrigation water. Erosion in furrows.

BIBLIOGRAFIA

1. BERG, R.O. and D.L. CARTER. Fuvion erosión and sediment losses on irrigated cropland. J. Soil Water Conserv.35:267270. 1980.
2. BOOKER, I. EL riego superficial. FAO. Roma, Italia. Cuaderno de Fomento Agropecuario No. 95.1974.
3. CARTER, D.L. and RD. BERG. A buried pipe septem for controlling erosión and sediment loss on irrigated land. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 749752. 1983.
4. CARTER, D.L., R.D. BERG and BJ. SANDERS. The effect on furrow irrigation erosión on crop productivity Soil Scienee Soil. Amer. J. 49: 20721 1. 1985.
5. GRASSI, C. Métodos de riego. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida, 1981.
6. ISARAELEN, O.W. and V. HANSEN, Principios y aplicaciones del riego. Barcelona, España. Ed. Reverté. 1965.
7. LEWIS, D.T. Quantification of soil loss and redirnent produced from eroded land. Soil Sci. Amer. J. 46: 369372. 1982.
8. MARR, J. Furrow irrigation. Riverside, University of California. Division of Agricultural Sciences. 1967.
9. MECH, S. and D. SMITH. Water erosión under irrigation. In: Irrigation of agricultural lands. Madison, Wisconsin. 1967. p. 950963.
10. OLSON,K.R. and A.H. BEAVERS. A method to estimate sail loss from erosión. Soil Sci. Amer. J. 51:441445.1987.
11. WISCHMEIER,W.M. Predicting rainfall erosión losses a guide to consenation planning. USDA. Agric.Handbock 537. 1978.