
Evaluación de la eficiencia de franjas amortiguadoras de pasto en la retención de agua, sedimentos y nutrientes usando el modelo APEX

Modelling the efficiency of grass buffer strips in trapping sediments and nutrients using APEX model

Oscar Rodríguez¹, Jimmy . R. Williams²; Jeffrey .G.Arnold³; Joaquín Sanabria²

¹Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela; ²Texas Ag. Exp. Station, Temple, Texas, USA; ³USDA-Ag. Research Service, Temple, Texas, USA.

RESUMEN

Las franjas amortiguadoras son franjas de terreno con vegetación permanente o semi-permanente diseñadas para interceptar contaminantes y manejar otros problemas ambientales. Las franjas amortiguadoras remueven sedimentos, nutrientes, pesticidas, contaminantes asociados con los sedimentos, excretas y otros desechos de los animales que se movilizan en la escorrentía desde campos agrícolas. Éstas ejercen su acción disminuyendo el movimiento del agua de escorrentía, atrapando sedimentos suspendidos en dichas aguas y promoviendo la infiltración del agua dentro de la franja. En los Estados Unidos, se ha desarrollado una iniciativa a nivel nacional para ayudar a los agricultores a instalar cerca de 3 millones de kilómetros, meta alcanzada en el año 2002, para mejorar la calidad del suelo, el aire y las aguas; mejorar el hábitat de especies silvestres, restaurar la biodiversidad, y crear paisajes con mayor belleza escénica.

ABSTRACT

Buffer strips are areas of land in permanent or semi-permanent vegetation designed to intercept pollutants and manage other environmental concerns. Buffer strips remove sediment, nutrients, pesticides, sediment-attached contaminants and animal waste from agricultural runoff. Buffer strips work by slowing the movement of runoff water, trapping sediments suspended in the runoff water and enhancing infiltration of the runoff water within the buffer strip. In the United States, a National Conservation Buffer Initiative has been established to help land owners install 2 million miles of buffers by the year 2002 to improve soil, air, and water quality; enhance wildlife habitat; restore biodiversity; and create scenic landscapes. In this study, the APEX (Agricultural Policy/Environmental eXtender) model was used to evaluate the efficiency of grass buffer strips in trapping sediment and nutrients. APEX was validated using field data from Blacksburg, Virginia.

The field study showed a sediment trapping

En este estudio, se usó el modelo APEX (Agricultural Policy/Environmental eXtender-Políticas Agrícolas/extensión ambiental) para evaluar la eficiencia de las franjas amortiguadoras de pasto en atrapar sedimentos y nutrientes. APEX se validó usando datos experimentales de Blacksburg, Virginia. El estudio de campo mostró una eficiencia de retención de franjas de pasto bermuda de 0.96-0.99 mientras que los resultados con APEX dieron como resultado una eficiencia de retención de 0.93-0.94. Luego de validar el modelo, APEX fue usado para desarrollar un conjunto generalizado de relaciones con respecto a la eficiencia de retención de las franjas amortiguadoras para varios climas, suelos, longitudes de campo, anchos de franja y pendientes en los Estados Unidos. Se desarrollaron eficiencias de retención de las franjas amortiguadoras de pasto para el flujo de escorrentía, sedimentos, formas solubles de nitrógeno y fósforo, y formas orgánicas de nitrógeno y fósforo transportadas en el sedimento. Estas relaciones pueden ser usadas en planificación local o regional y en modelos a nivel de cuencas.

Palabras clave: Franjas amortiguadoras, APEX, control de erosión, contaminación no puntual

efficiency of 0.96-0.99 while APEX results gave a trapping efficiency of 0.93-0.94. After the model was validated, APEX was used to develop a generalized set of relationships on buffer trapping efficiency for various climates, soils, field lengths, buffer widths, and slopes in the U.S. Grass buffer trapping efficiencies were developed for flow, sediment, soluble forms of nitrogen and phosphorus, and organic forms of nitrogen and phosphorus transported by sediment. These relationships can be used in local and regional planning and in watershed scale models.

Key words: Buffer strips, APEX, erosion control, non point source pollution

INTRODUCCIÓN

Muchos autores han cuantificado la eficiencia de retención de franjas amortiguadoras en campos experimentales. Wilson (1967), destaca que los filtros de pasto son una medida efectiva y económica, representando el primer paso para reducir la carga de sedimentos en aguas de escorrentía. Este investigador encontró que el pasto bermuda fue el más eficiente de siete especies probadas. Dillaha et al. (1989) y Magette et al. (1989) condujeron experimentos de campo para determinar la capacidad de franjas de pasto en retener nitrógeno y fósforo reportando eficiencias en un rango entre 53-98%. Coyne et al. (1998) estudiaron la capacidad de franjas de pasto de retener bacterias fecales y determinaron que la mayoría de los sedimentos y las bacterias fueron removidos de la escorrentía, sin embargo, ellos concluyeron que las concentraciones de coliformes fecales excedieron los estándares de calidad de agua, admitiendo que las franjas por sí solas son inadecuadas para alcanzar los niveles mínimos de calidad de agua requeridos. Las experiencias de campo son escasas y para condiciones puntuales, es por ello que el presente trabajo tuvo por finalidad evaluar la eficiencia de franjas amortiguadoras de pasto en la retención de agua, sedimentos y nutrientes usando el modelo de simulación APEX.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los modelos de simulación pueden utilizarse en condiciones experimentales de una gran variación temporal y espacial, en períodos largos de ensayo, enriqueciendo y mejorando los muy valiosos y escasos datos de campo.

En el presente estudio, el modelo APEX (Agricultural Policy / Environmental eXtender) fue utilizado para evaluar la eficiencia de las franjas amortiguadora de pasto para atrapar sedimentos y nutrientes

El Modelo APEX

El modelo APEX (Williams et al, 1998) fue desarrollado para ser usado en el manejo de pequeñas cuencas agrícolas, y específicamente se elaboró para evaluar varias estrategias de manejo de la tierra considerando la sostenibilidad, erosión (eólica, e hídrica laminar y concentrada), economía, suplencia y calidad de agua, calidad del suelo, competencia entre plantas, clima y plagas.

Las capacidades de manejo incluyen riego, drenaje, surcos con tapas, franjas amortiguadoras, terrazas, drenajes protegidos, fertilización, manejo de estiércol, lagunas y reservorios, rotaciones de cultivo, selección de cultivos, aplicación de pesticidas, pastoreo y labranza. Además de estas funciones de manejo agrícola, APEX puede ser utilizado en evaluar los efectos de cambios de clima global y de CO₂, diseño de sitios para rellenos sanitarios ambientalmente seguros, diseño de sistemas de producción de biomasa para generación de energía y otras aplicaciones de interés. El modelo opera sobre una base diaria de escala temporal y es capaz de simular cientos de años si es necesario. Las áreas pueden ser divididas en lotes, tipos de suelo, posiciones del terreno o cualquier otra configuración requerida.

Validación del modelo

A los fines de esta investigación, APEX fue validado usando datos de campo de experimentos con franjas amortiguadoras llevados a cabo en Prices Fork Research Farm, Blacksburg, Virginia (Dillaha et al., 1989)

Análisis de la eficiencia de las franjas de pasto

Luego de validar con las franjas amortiguadoras del experimento de Virginia, se usó APEX para desarrollar un conjunto generalizado de relaciones sobre la eficiencia de franjas amortiguadoras para varios climas, suelos, longitudes de campo, anchos de franjas y pendientes en los Estados Unidos. Usando APEX como herramienta de simulación, se desarrolló un diseño experimental completamente aleatorizado en un arreglo factorial tomando en cuenta las siguientes variables:

Clima – Se usaron treinta años de simulación en cuatro localidades diferentes representativas de climas con variaciones amplias:

1) Temple, Texas, 2) Tifton, Georgia, 3) Richmond, Virginia, y 4) Farmer City, Illinois

Suelos – Se consideraron cuatro suelos diferentes representativos de cada grupo hidrológico:

1) Grupo hidrológico de suelo A (Series de suelo Desan),
2) Grupo hidrológico de suelo B (Series de suelo Floyd), 3) Grupo hidrológico de suelo C (Series de suelo Austin), y 4) Grupo hidrológico de suelo D (Series de suelo Houston Black)

Longitudes de campo: 50, 100 y 200 m.

Longitudes de franjas de pasto: 2, 5, 10, 20 y 40 m.

Las relaciones ancho de franjas amortiguadoras de pasto / longitud de campo variaron en un rango desde 0.01 a 0.8

Pendientes: 5, 10, 15 y 20 %.

Cultivos – El cultivo seleccionado para ocupar la parte superior del campo fue Maíz con labranza convencional

Franja amortiguadora de pasto – El pasto Bermuda fue usado como la franja amortiguadora filtrante.

De la combinación de variables las mencionadas resultó un total de 240 tratamientos para cada localidad : 4 suelos * 3 longitudes de campo * 5 anchos de franja * 4 pendientes

La eficiencia de las franjas fue evaluada para retención de agua, sedimentos y nutrientes estableciendo una relación entre las salidas obtenidas con la presencia de la franja y las obtenidas sin la presencia de la barrera. Se realizaron análisis de correlación y regresión utilizando el paquete estadístico SAS (2000) aplicado a diferentes conjuntos de datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la validación se muestran en el Cuadro 1. APEX fue capaz de simular la escorrentía y la producción de sedimentos con una precisión aceptable con y sin franja amortiguadora. El estudio de campo obtuvo una eficiencia de retención de sedimentos de 0.96-0.99 mientras que con APEX los resultados dieron una eficiencia de retención de 0.93-0.94.

Cuadro 1. Resultados obtenidos mediante simulación con APEX y de experimentos de campo (Dillaha et al., 1989 Pices Fork Research Farm, Blacksburg, Virginia)

Parcela*	Escoorrentía (mm)		Producción de sedimentos (Mg/ha)		Eficiencia de retención de sedimentos	
	Experimento de campo	APEX	Experimento de campo	APEX	Experimento de campo	APEX
	Corridas [†] 1-3					
QF3	24.9	21.57	1.87	1.14	0.99	0.94
QF1	4.0	2.83	0.02	0.07		
	Corridas [†] 4-6					
QF3	45.9	50.72	2.05	2.99	0.96	0.93
QF1	13.9	15.03	0.08	0.20		
	Corridas [†] 1-6					
QF3	70.8	72.29	3.92	4.13	0.98	0.93
QF1	17.9	17.86	0.10	0.27		

*QF3 longitud franja amortiguadora: 0 m. Pendiente: 11 %,

QF1 longitud franja amortiguadora: 9.1 m. Pendiente: 11 %

[†]Corridas 1-3 120 mm lluvia, 50 m/h en 48 horas, Corridas 4-6 120 mm lluvia 50 m/h en 48 horas, Corridas 1-6 240 mm lluvia 50 mm/h en 7 días

Las ecuaciones de regresión y sus coeficientes para predecir la eficiencia de retención de sedimentos se muestran en el Cuadro 2. Estas presentan una alta capacidad predictiva pero requieren de datos específicos de la localidad tales como la pendiente. Una ecuación exponencial del tipo, $Y=a*(1-EXP(-b*X))$, es la que mejor se ajustó a los datos.

Cuadro 2. Modelos de predicción de la eficiencia de retención de sedimentos para diferentes grupos hidrológicos de suelos en una condición particular del campo

Modelo de Regresión	R ²	Grupo hidrológico
$RYT_A=71.43-0.313(P)-0.108(LC)+3.616(AF)$ $+ 0.003(AF/LC)-0.072(AF)^2$	0.81	A
$RYT_B=54.66-0.418(P)-0.123(LC)+4.779(AF)$ $+ 0.003(AF/LC)-0.089(AF)^2$	0.90	B
$RYT_C=36.10-0.531(P)-0.117(LC)+5.133(AF)$ $+ 0.002(AF/LC)-0.08(AF)^2$	0.97	C
$RYT_D=34.12-0.536(P)-0.116(LC)+5.038(AF)$ $+ 0.002(AF/LC)-0.08(AF)^2$	0.97	D

P: Pendiente LC: Longitud del Campo AF: Ancho de Franja

RYT (Eficiencia de retención de sedimentos - %)

AF/LC (Relación ancho de franja amortiguadora/longitud de campo de cultivo); AF y LC en m.

Con la finalidad de obtener una relación más generalizada para ser aplicada a nivel regional o de cuencas, se obtuvieron modelos de regresión exponenciales usando la relación ancho de franja amortiguadora/longitud de campo de cultivo-AF/LC como la variable independiente. Después de analizar los datos, se encontró que los suelos de los grupos hidrológicos A y B se pueden combinar, así como también los suelos de los grupos hidrológicos C y D pueden ser combinados sin perder precisión.

El Cuadro 3 muestra los modelos de regresión y sus coeficientes de determinación para predecir la eficiencia de retención de las franjas amortiguadoras. La Figura 1 muestra la eficiencia de retención de agua de escorrentía (YQ), de sedimentos (YT), de nitrógeno (QN) y fósforo (QP) transportado con la escorrentía, y de nitrógeno (YN) y fósforo (YP) transportado con los sedimentos

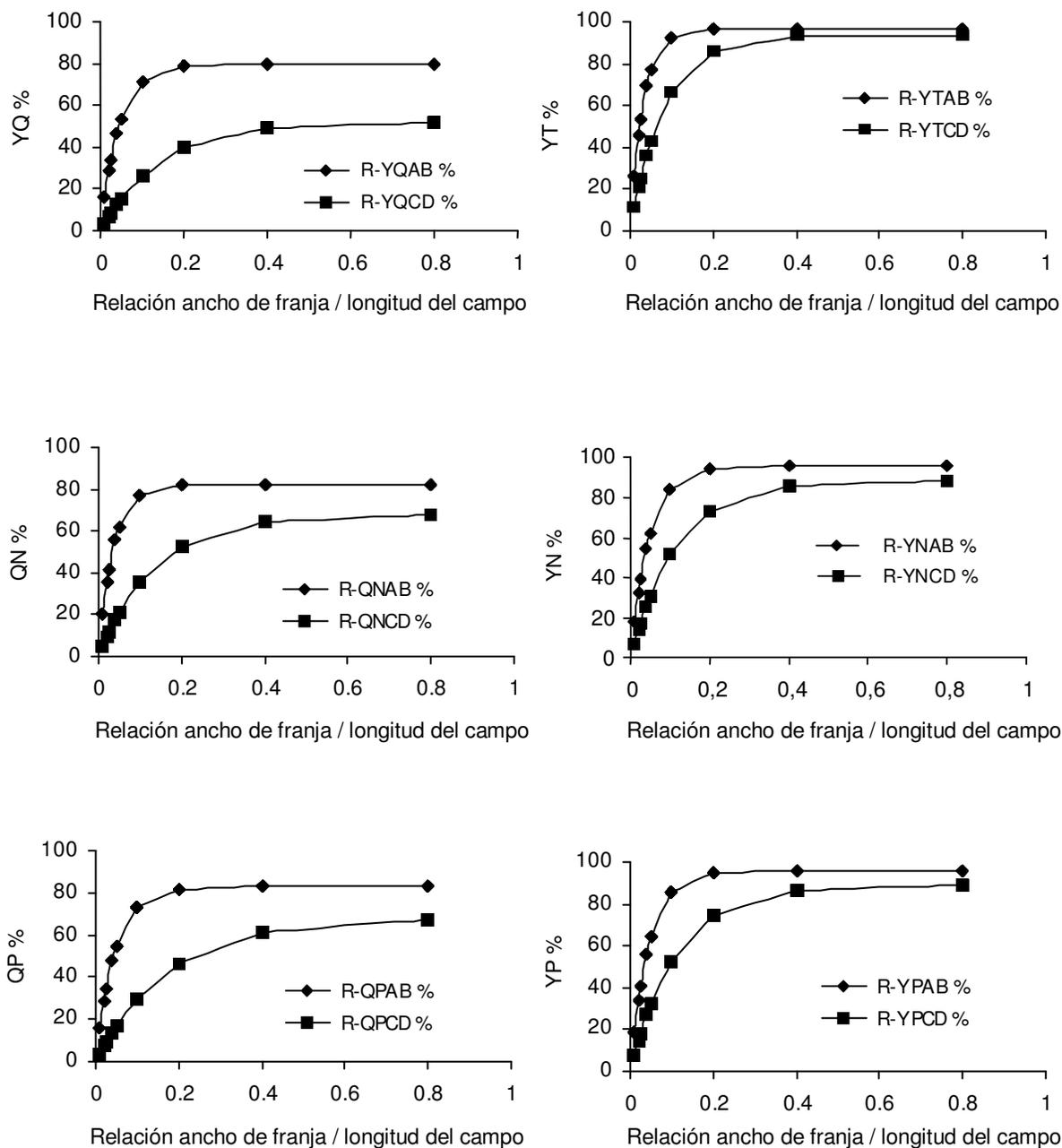


Figura 1. Curvas de regresión para eficiencia de retención de: a) agua de escorrentía (YQ), b) sedimentos (YT), c) nitrógeno asociado con escorrentía (QN) d) nitrógeno asociado con sedimentos (YN), e) fósforo asociado con escorrentía (QP) y f) fósforo asociado con sedimentos (YP), para suelos de los grupos hidrológicos agrupados AB y CD.

Cuadro 3. Modelos de predicción de la eficiencia de retención de las franjas amortiguadoras de escorrentía (YQ), de sedimentos (YT), de nitrógeno (QN) y fósforo (QP) transportado con la escorrentía, y de nitrógeno (YN) y fósforo (YP) transportado con los sedimentos usando ecuaciones exponenciales.

Modelo de Regresión	R ²	Grupo Hidrológico
$RYQ_{AB}=79.37*(1-EXP(-22.38*AF/LC))$	0.82	A y B
$RYQ_{CD}=51.89*(1-EXP(-7.17*AF/LC))$	0.80	C y D
$RYT_{AB}=96.59*(1-EXP(-32.01*AF/LC))$	0.81	A y B
$RYT_{CD}=93.64*(1-EXP(-12.13*AF/LC))$	0.91	C y D
$RYN_{AB}=95.42*(1-EXP(-21.25*AF/LC))$	0.87	A y B
$RYN_{CD}=88.22*(1-EXP(-8.83*AF/LC))$	0.90	C y D
$RYP_{AB}=95.65*(1-EXP(-22.19*AF/LC))$	0.86	A y B
$RYP_{CD}=89.32*(1-EXP(-8.89*AF/LC))$	0.90	C y D
$RQN_{AB}=82.20*(1-EXP(-28.31*AF/LC))$	0.78	A y B
$RQN_{CD}=67.63*(1-EXP(-7.45*AF/LC))$	0.86	C y D
$RQP_{AB}=83.05*(1-EXP(-21.20*AF/LC))$	0.83	A y B
$RQP_{CD}=67.93*(1-EXP(-5.70*AF/LC))$	0.86	C y D

CONCLUSIONES

La eficiencia de retención de las franjas amortiguadoras de pasto para aguas de escorrentía, sedimentos, formas solubles de nitrógeno y fósforo, y formas orgánicas de nitrógeno y fósforo transportadas con los sedimentos se obtuvieron con el modelo APEX. Las curvas de regresión exponenciales obtenidas para predecir la eficiencia de retención de las franjas amortiguadoras de pasto pueden ser usadas en la planificación regional y local y para la toma de decisiones sobre políticas de uso de estas prácticas. Ellas también pueden ser incorporadas en modelos a escala de cuencas para la evaluación hidrológica de grandes áreas.

LITERATURA CITADA

- Coyne, M.S., R. A. Gilfillen, A. Villalba, Z. Zhang, R. Rhodes, L. Dunn, y R.L. Blevins.** 1998. Fecal bacteria trapping by grass filter strips during simulated rain. *J. Soil and Water Cons.* 53(2): 140-145.
- Dillaha, T.A., R.B. Reneau, S. Mostaghimi y D. Lee.** 1989. Vegetative Filter Strips for Agricultural Nonpoint Source Pollution Control. *Transactions of the ASAE* Vol. 32(2):513-519.
- Magette, L.W., R.B. Brinsfield, R.E. Palmer y J.D. Wood.** 1989. Nutrient and Sediment Removal by vegetated Filter Strips. *Transactions of the ASAE* Vol. 32(2):663-667.
- SAS Institute.** 2000. SAS/GRAPH software: Reference. Version 8. SAS Inst., Cary NC.
- Williams, J.R., Arnold, J.G., Srinivasan, R., y T.S. Ramanarayanan.** 1998. APEX: A new tool for predicting the effects of climate change and CO₂ changes on erosion and water quality. En: Boardman, J. y Favis Mortlock, D. (eds.) *Modelling Soil Erosion by Water*, NATO ASI Series I (55):441-449.
- Wilson, L.G.** 1967. Sediment removal from flood water by grass filtration. *Transactions of the ASAE* 10 (1):35-37.