

Erosión hídrica y uso de la radiación solar por especies forrajeras en la cuenca del río Coxcacoco, México

P. Betancourt Y¹ B. Figueroa S² C. Ortiz S²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. INIA-Lara. Km 7 vía Barquisimeto-Duaca. Apartado postal 592. Barquisimeto estado Lara. Venezuela.

²Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Instituto de Recursos Naturales. Km 35,5 carretera México-Texcoco. Montecillo estado de México, México

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue simular mediante el programa EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) la erosión hídrica, el uso de la radiación solar y el rendimiento en materia seca de tres especies forrajeras de uso común en la cuenca del río Coxcacoco en el estado de México. Para ello se utilizaron dos gramíneas pasto rhodes (*Chloris gayana*) y pasto nativo (*Hilaria cenchroides*) y una leguminosa, alfalfa (*Medicago sativa*), en suelos clasificados como Lithic Ustorthents. Se calculó inicialmente el rendimiento en materia seca de las especies durante cinco meses así como también se realizaron estimaciones de la erosión hídrica mediante la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo. Posteriormente mediante el EPIC se realizaron simulaciones del uso de la radiación solar, erosión hídrica y rendimiento de las especies mencionadas. Los resultados indican que en las condiciones propias de esta cuenca, el pasto rhodes es el más eficiente en el uso de la radiación solar con valores de 28,25 y 33,68% superiores a los obtenidos en el pasto nativo y alfalfa, respectivamente. Por otro lado, se comprobó que el EPIC tiende a subestimar el uso de la radiación solar y a sobreestimar la erosión hídrica, sin embargo, en condiciones de cobertura total del suelo, efectúa una excelente simulación del rendimiento en materia seca de estas especies forrajeras.

Palabras clave: EPIC, simulación, pérdidas de suelo, radiación solar, pastos.

Introducción

La simulación ha sido una herramienta utilizada en el avance de los conocimientos agrícolas útiles para la toma de decisiones y para que los agricultores puedan probar, con mínimo riesgo, diversas alternativas de manejo (2). La necesidad de evaluar los cambios de uso y manejo del suelo, así como la productividad de los cultivos, ha llevado a recurrir con más frecuencia al uso de modelos de simulación por ser más económicos que realizar mediciones reales, además se evita modificar el ambiente (14). Entre estos modelos, el EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) es muy utilizado para simular pérdidas de suelo y productividad de los cultivos (9). Este modelo puede ser utilizado por los planificadores para establecer las metas de control de la erosión en función de las técnicas de conservación y productividad actual de los cultivos. Además, el componente climático del EPIC es capaz de generar precipitación, temperatura y radiación solar para largas series de

tiempo (14). En el estado de México, la ganadería sirve de sustento a muchas comunidades campesinas y en la región geográfica donde se realizó el estudio la fuente de alimentación más importante son las pasturas de gramíneas y leguminosas; aquí, las pérdidas de suelo por erosión hídrica es una de las principales causas de la degradación de los suelos y que reduce las alternativas de manejo de la cuenca (3). El rendimiento potencial de las plantas es función de la tasa de interceptación y de la eficiencia en el uso de la radiación solar para convertir el dióxido de carbono en materia seca (17), de aquí la importancia de conocer, mediante simulación, el comportamiento, frente a la radiación solar, de las diferentes especies forrajeras más utilizadas para la alimentación de los rebaños en un sector del Este de la cuenca y estimar las pérdidas potenciales de suelo por erosión hídrica, lo que constituye el propósito de este trabajo.

Materiales y métodos

Este trabajo se realizó en la parte este de la cuenca del río Coxacoaco, localizada en el piedemonte de la Sierra Nevada, entre las coordenadas 19° 29' 53" Norte y 98° 47' 55" Oeste, en la población de San Miguel Tlaixpan, estado de México. La zona está a 2550 msnm con temperatura media anual entre 12 y 18°C con pendiente promedio del terreno de 10%.

En 6 parcelas de 16 m² cada una,

se midió mensualmente la producción de materia seca durante todo el período de lluvia (julio-octubre) de dos gramíneas (*Chloris gayana* e *Hilaria cenchroides*) y una leguminosa (*Medicago sativa*). Para ello, se tomaron cuatro muestras de 0.1 m² por parcela, mediante cortes a 5 cm de altura, utilizando un marco cuadrado de 50 cm x 20 cm. Luego de secarlo a la estufa a 60°C se pesó para obte-

ner la cantidad de materia seca por unidad de área.

Se realizó una calicata de 105 cm de profundidad en el área experimental, para estudiar el perfil y clasificar el suelo mediante la clave del USDA (12). La descripción del perfil se realizó según la metodología de Cuanalo (4) con sus respectivos análisis de laboratorio (15).

Con los datos climáticos del sector, utilizando el programa EPIC, se realizó el cálculo de la radiación solar y el índice de área foliar para cada especie forrajera. La radiación fotosintéticamente activa (PAR) interceptada se obtuvo a partir de la ley de Beer (5), utilizando los coeficientes de extinción de la luz de cada cultivo.

$$IPAR = 0,5 \times SR (1 - e^{-(k \times LAI)})$$

Donde: IPAR= Radiación fotosintéticamente activa interceptada (MJ m⁻²)

SR= Radiación solar global (MJ m² día⁻¹)

K= Coeficiente de extinción de la luz del cultivo (adimensional)

$$LAI = \text{Índice de área foliar (m}^2 \text{ m}^{-2}\text{)}$$

Con los datos de materia seca y con los de IPAR se calculó el uso eficiente de la radiación (RUE) para cada una de las especies, la cual esta representada por la pendiente de la línea recta que resulta de la relación entre la producción de materia seca y la interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (PAR).

Utilizando la Ecuación Univer-

sal de Pérdidas de Suelo (A = R K L S C P) se calculó la erosión hídrica en cada parcela.

donde:

A: Pérdidas de suelo anual (t ha⁻¹)

R: Erosividad de la lluvia (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹)

K: Erosionabilidad del suelo (t ha h MJ⁻¹ mm⁻¹ ha⁻¹)

L: Longitud de la pendiente (adimensional)

S: Grado de la pendiente (adimensional)

C: Manejo de cultivo (adimensional)

P: Prácticas mecánicas (adimensional)

En la ecuación el valor de R se calculó a partir de la metodología de Richarson modificada (8). Los demás parámetros fueron calculados según el manual de pérdidas de suelo por erosión hídrica (6). Igualmente se procedió a simular la erosión hídrica mediante EPIC y ambos resultados fueron comparados. Para la simulación de la erosión se utilizaron los datos del perfil de suelo descrito y el albedo del suelo se calculó mediante la fórmula de Bauner (10).

$$A = 0,6 / \text{Exp} (0,4 \times MO)$$

Donde: A = Albedo del suelo

MO= Materia orgánica del suelo (%)

Finalmente se procedió a simular mediante EPIC el rendimiento en materia seca de las tres especies forrajeras para los próximos 100 años.

Resultados y discusión

Clasificación del suelo

El perfil presentó una capa superficial de 8 cm, correspondiente a un horizonte Ap, con evidencias de

actividad faunística. En esta capa se concentra la mayor cantidad de raíces, el mayor contenido de materia orgánica y presenta una estructura

bien desarrollada de bloques subangulares. A partir de los 31 cm se observó parte del horizonte C y después de los 41 cm se presenta un horizonte endurecido (cementado) denominado genéticamente como Crt. En general todo el perfil presentó una densidad aparente alta, reflejando la dureza de este suelo. La coloración de tonos oscuros en la parte superficial se fue convirtiendo en tonos pardos grisáceos para terminar, en la parte más profunda, con una coloración de tonos amarillentos (cuadro 1). Estas características, sumadas a los análisis de laboratorio (cuadro 2), permitieron clasificar el suelo como un Lithic Ustorthents

Uso de la radiación solar

Los resultados se muestran en la figura 1 e indican que el pasto rhodes fue más eficiente en el uso de la radiación al producir 1,77 g MS MJ⁻¹ de radiación interceptada. La alfalfa, en este caso, presentó la menor eficiencia en el uso de la radiación con un valor de 1,17. En términos generales la eficiencia en el uso de la radiación por el pasto rhodes fue 28,25 y 33,68% superior a la del pasto nativo y alfalfa respectivamente. Estos resultados coinciden con los reportados por Sinclair y Muchow (13), quienes indicaron que las gramíneas son más eficientes en el uso de la radiación para formar biomasa, ya que las leguminosas utilizan gran parte de la radiación interceptada para formar otros compuestos como las proteínas. El pasto rhodes fue el que presentó mayor eficiencia en el uso de la radiación fotosintéticamente activa, debido principalmente a su alta conversión de energía a biomasa y a su ma-

yor área foliar expuesta. Al respecto, Uresti (16), menciona que la interceptación de la radiación por parte de los cultivos depende estrictamente de su área foliar verde y Andrades *et al.* (1), indican que *Panicum maximum* presentó mayor eficiencia en el uso de la radiación solar que la *Brachiaria brizantha* y la *Brachiaria decumbens* como resultado del incremento de su área foliar. Así mismo Kiniry *et al.* (7), señalan que la interceptación de la radiación solar depende del área foliar, por lo que los valores de IPAR en los cultivos decrecen considerablemente con la edad.

Al comparar los valores de uso eficiente de la radiación solar (RUE) observados con los valores simulados, encontramos que para el caso de estas pasturas, los valores simulados fueron superiores a los observados, lo que indica que el modelo EPIC sobreestimó los valores de RUE. La mayor aproximación de los valores simulados con los observados correspondió al pasto nativo (figura 2), de tal manera que se puede afirmar que, en las condiciones propias de esta cuenca, el programa EPIC, es más efectivo en la simulación del uso eficiente de la radiación por este pasto nativo comparado con el pasto rhodes y con la alfalfa. Al respecto, Santamaría *et al.* (11), indican que los rendimientos en materia seca de la alfalfa se relacionan significativamente con los estimados con el modelo EPIC, con una $r^2 = 0,92$ y $P < 0,05$, en diferente ambientes ecológicos de México.

Erosión y rendimiento simulado

Utilizando la ecuación universal de pérdidas de suelo se calcularon los

Cuadro 1. Descripción del perfil de suelo

Profundidad	Horizonte	Características del horizonte
0 - 8	Ap	Color pardo (10 YR 5/3) en seco y pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo. Textura franco, estructura de bloques subangulares bien desarrollada, consistencia dura en seco, plástica y pegajosa en húmedo, permeabilidad lenta, raíces delgadas abundantes y medias pocas, pocos poros finos y medios escasos. Depósito de excremento en los poros, fisuras pocas de 3-5 mm de grosor, presencia de hormigas. Sin reacción al HCl y ligera al H ₂ O ₂ en frío, transición horizontal y marcada por color.
8 - 31/36	A	Color gris (10 YR 5/1) en seco y pardo muy oscuro grisáceo (10 YR 3/2) en húmedo, textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares bien desarrollada, consistencia ligeramente dura en seco y pegajosa en húmedo, permeabilidad lenta, raíces delgadas abundante, medias y gruesas pocas. Pocos poros finos y discontinuos, fisuras pocas < 3 mm. Sin reacción al HCl y mediana a H ₂ O ₂ en frío. Transición ondulada y marcada por color.
31/36 – 41/45	AC	Color gris (10 YR 5/1) en seco y pardo muy oscuro grisáceo (10 YR 3/2) en húmedo, Textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares bien desarrollada, consistencia ligeramente dura en seco y pegajosa en húmedo, permeabilidad lenta. Raíces delgadas abundante, medias y gruesas pocas, pocos poros finos y discontinuos, fisuras pocas < 3 mm, sin reacción al HCl y mediana a H ₂ O ₂ en frío. Transición ondulada y marcada por color.
41/45 – 58	Crt	Color gris (10YR 6/1) en seco y pardo muy oscuro grisáceo (10YR 3/2) en húmedo, textura arcillosa, estructura de bloques subangulares bien desarrollada, consistencia muy dura en seco y plástica y pegajosa en húmedo, permeabilidad moderada. Raíces finas escasas, pocos poros finos discontinuos, revestimientos arcillosos. Sin reacción al HCl y media al H ₂ O ₂ en frío. Transición ondulada y marcada por color.
58 - 71/73	Crt2	Color gris claro pardusco (10YR 6/2) en seco y pardo amarillento (10 YR 5/4) en húmedo, Textura arcillosa, estructura de bloques subangulares bien desarrollada, consistencia dura en seco y plástica en húmedo, permeabilidad moderada. Raíces finas escasas, pocos poros finos discontinuos, revestimientos arcillosos y depósitos de Mn intragregados. Sin reacción al HCl y ligera al H ₂ O ₂ en frío. Transición ondulada y tenue.
71/73 - 89/90	Crt3	Color gris claro pardusco (10YR 6/2) en seco y pardo amarillento (10 YR 5/4) en húmedo, textura arcillosa, estructura de bloques subangulares bien desarrollada, consistencia dura en seco y plástica en húmedo, permeabilidad moderada. Raíces finas escasas, pocos poros finos discontinuos, revestimientos arcillosos y depósitos de Mn intragregados. Sin reacción al HCl y ligera al H ₂ O ₂ en frío, Transición ondulada y tenue.
89/90 – 105	C	Color pardo muy pálido (10 YR 7/4) en seco y pardo amarillento oscuro (10 YR 3/6) en húmedo, textura arcillo limosa, estructura de bloques subangulares moderadamente desarrollada, consistencia muy dura en seco y plástica y pegajosa en húmedo, permeabilidad moderada. Raíces finas raras y muertas, poros finos escasos y presencia de Mn en las caras de los agregados. Sin reacción al HCl y media al H ₂ O ₂ en frío.

Cuadro 2. Determinaciones de laboratorio para clasificar el perfil de suelo

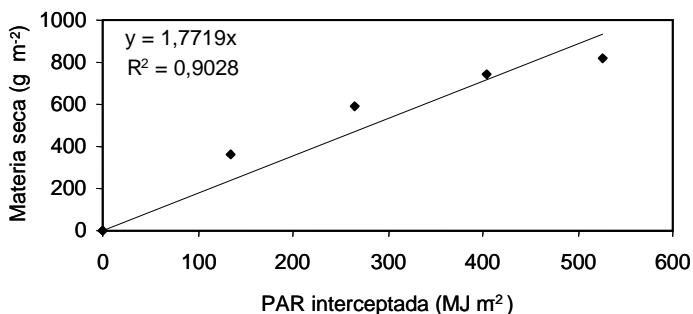
Prof cm	pH	Color		Cationes solubles				
		seco	húmedo	CE dS m ⁻¹	Na meq l ⁻¹	K meq l ⁻¹	Ca meq l ⁻¹	Mg meq l ⁻¹
0-8	6,6	10YR 5/3	10YR 3/3	0,34	0,27	0,22	9,60	1,00
8-31	7,2	10 YR 5/1	10YR 3/2	0,28	0,74	0,16	4,00	5,20
31-41	7,3	10YR 6/2	10YR 4/4	0,28	0,97	0,11	5,00	1,40
41-58	7,4	10YR 6/1	10YR 3/2	0,26	0,81	0,11	3,40	2,40
58-71	7,0	10YR 6/2	10YR 5/4	0,32	1,08	0,12	3,50	1,50
71-89	7,0	10YR 6/2	10YR 5/4	0,60	1,53	0,16	8,00	1,00
89-105	6,8	10YR 7/4	10YR 3/6	0,61	1,48	0,17	7,50	1,70

Prof cm	CIC cmol kg ⁻¹	CO ₃ %	MO %	CO %	Cationes intercambiables			
					Na cmol kg ⁻¹	K cmol kg ⁻¹	Ca cmol kg ⁻¹	Mg cmol kg ⁻¹
0-8	24,38	0,49	1,25	0,73	0,10	0,42	10,72	6,08
8-31	34,34	0,61	1,75	1,02	0,37	0,86	18,72	4,64
31-41	36,25	0,88	2,13	1,24	0,68	0,66	20,80	1,60
41-58	36,04	0,58	1,50	0,87	0,86	0,99	24,00	2,40
58-71	32,44	0,36	1,38	0,80	0,72	0,78	18,88	4,32
71-89	37,31	0,45	1,50	0,87	0,68	0,78	18,72	3,04
89-105	43,46	0,76	1,75	1,02	0,90	1,10	22,40	1,92

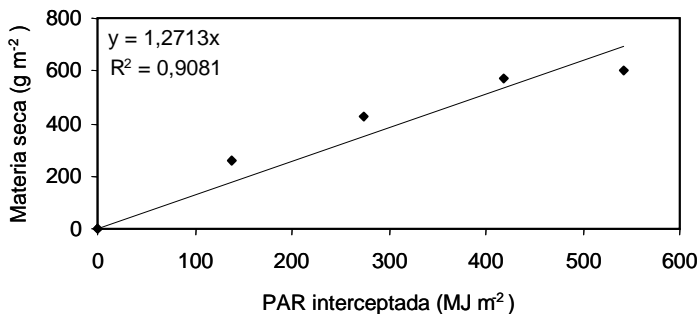
Prof cm	PSB %	Da Mg m ⁻³	Análisis mecánico			Clase textural	P ppm	Humedad %
			arena %	arcilla %	limo %			
0-8	58,36	1,62	37,80	15,59	46,61	franco	< 250	5,77
8-31	71,59	1,64	14,30	38,79	46,91	fr. arc. Limoso	< 250	23,17
31-41	65,50	1,70	31,30	29,99	38,71	fr. Arcilloso	< 250	21,51
41-58	78,39	1,70	7,70	49,99	42,31	arc. Limoso	< 250	29,34
58-71	76,18	1,70	15,70	48,39	35,91	arcilloso	< 250	28,00
71-89	62,24	1,65	20,60	34,79	44,61	fr. Arcilloso	< 250	24,19
89-105	60,57	1,59	13,40	31,59	55,01	fr. Arc. limoso	< 250	24,19

Prof = Profundidad CE= Conductividad eléctrica CIC= Capacidad de intercambio catiónico
CO₃ = Carbonatos totales MO = Materia orgánica CO = Carbono orgánico
Da = Densidad aparente P= Fósforo soluble en ácido cítrico PSB = Porcentaje de saturación de bases

Rhodes (*Chloris gayana*)



Nativo (*Hilaria cenchroides*)



Alfalfa (*Medicago sativa*)

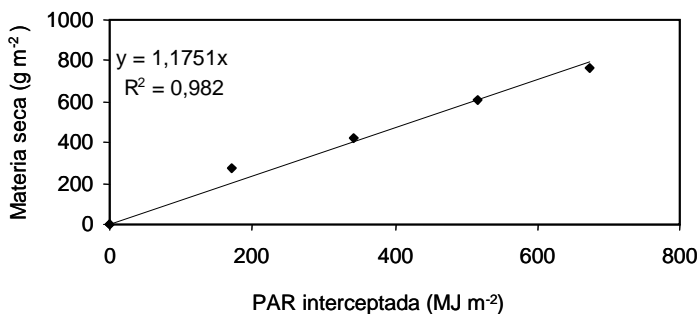


Figura 1. Uso eficiente de la radiación solar en acumulación de materia seca

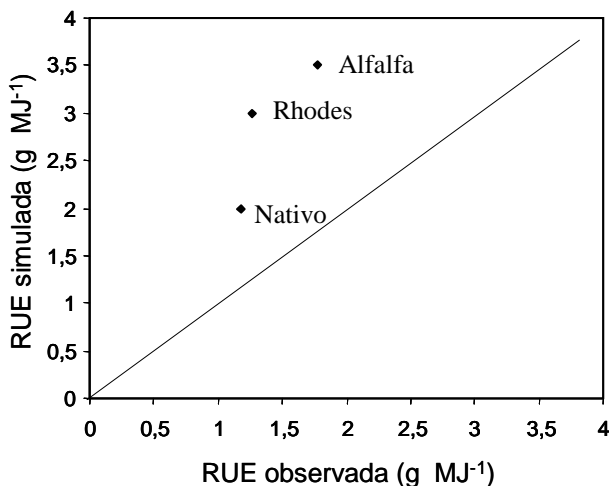


Figura 2. Relación RUE observada y simulada en especies forrajeras

valores de pérdidas de suelo en las praderas de rhodes, nativo y alfalfa y utilizando el modelo EPIC se simuló las pérdidas. Las mayores pérdidas calculadas y simuladas correspondieron a las praderas de alfalfa y las menores a las de pasto rhodes (figura 3). Al comparar los valores simulados mediante EPIC con los valores calculados se observó una subestimación de la erosión por parte del modelo, es decir, los valores simulados con EPIC estuvieron por debajo de los calculados. Estos resultados coinciden con los reportados por Muñoz (10), quien trabajando con sistemas de labranza convencional y de conservación, observó que los valores de erosión hídrica estimados para ambos sistemas de labranza estaban muy por debajo de los límites aceptables de pérdidas de suelo. Igualmente, Arroyabe *et al.* (2), indican que existen discrepancias entre los valores de pérdidas de suelo observados y simulados en parcelas

con cobertura de rastrojos a base de rye grass. El programa EPIC realizó una subestimación de la erosión al compararlo con los valores obtenidos mediante la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo; sin embargo se debe tomar en cuenta que se ha demostrado que la EUPS tiende a hacer sobrestimaciones de la erosión en muchos casos (16).

El potencial productivo de las tres especies simulado mediante EPIC se muestra en la figura 4 donde se puede observar que la mayor variación correspondió a la pradera de alfalfa, mientras que los rendimientos para las gramíneas fueron de menor variación, debido principalmente a que las gramíneas forrajeras mantienen mayor cobertura sobre el suelo, por lo tanto las pérdidas de suelo por erosión son mínimas. En la simulación realizada se observó un incremento de rendimientos en materia seca de 0,8 t ha⁻¹ y 3,7 t ha⁻¹ al compa-

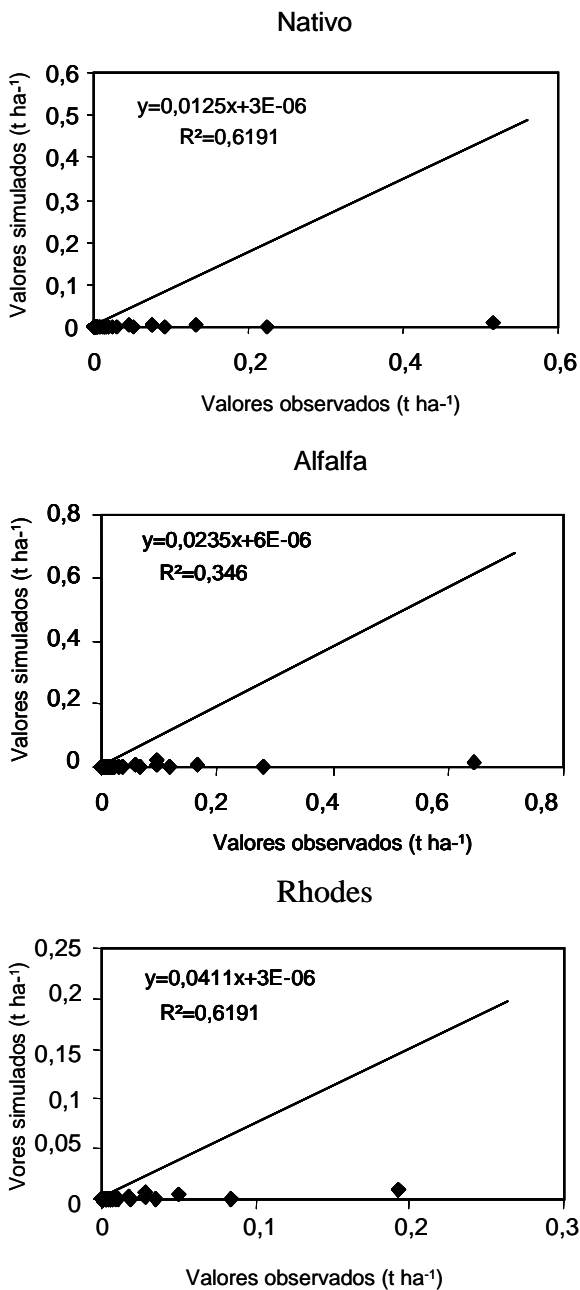


Figura 3. Erosión hídrica observada y simulada

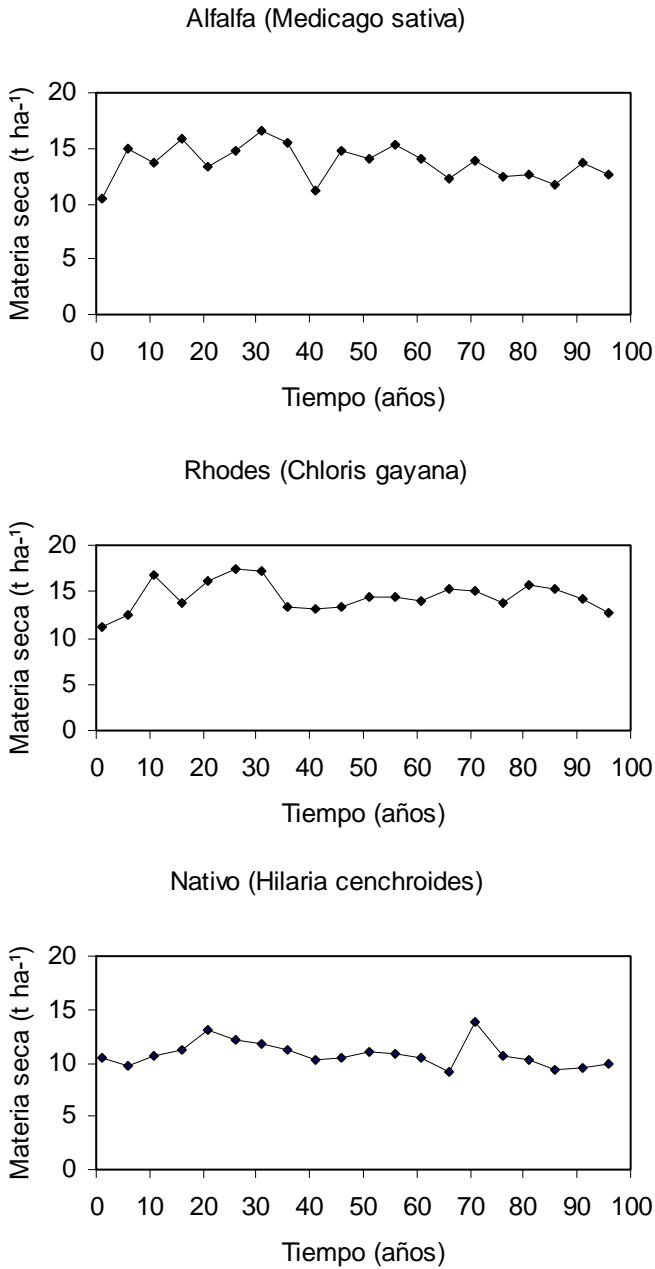


Figura 4. Valores simulados de rendimiento en materia seca

rar el pasto rhodes con la alfalfa y el pasto nativo, respectivamente. La máxima expresión del rendimiento de la alfalfa se presentó en los años simulados 31 y 36, observándose valores de 16,58 y 15,54 t ha⁻¹ de materia seca, mientras que el pasto rhodes mostró esa condición en los años 26 y 31, con valores de 17,44 y 17,27 t ha⁻¹. El pasto nativo mostró sus máximos rendimientos simulados en el año 21 y 71, siendo 13,15 y 13,74 t ha⁻¹, respectivamente. En el caso de la alfalfa los rendimientos simulados fueron los de mayor variación cada cinco años, presentando como valor mínimo 10,5 t ha⁻¹ en el año uno y el máximo de 16,58 t ha⁻¹ en el año 31. Por su parte el pasto rhodes presentó un comportamiento más uniforme a lo largo de la simulación siendo el valor mínimo de 11,11 t ha⁻¹ el primer año y el máximo de 17,44 t ha⁻¹ en el año 26. La

mayor uniformidad de los rendimientos se observó a partir del año 36. En cuanto al pasto nativo, los rendimientos simulados fueron más estables a lo largo del proceso de simulación, a excepción de los años 21 y 71 donde se presentaron los mayores rendimientos. El valor mínimo de rendimiento fue de 9,17 t ha⁻¹ en el año 66. Los rendimientos simulados para las tres especies fueron muy similares a los datos obtenidos en campo, por lo que se puede indicar que el programa EPIC produce resultados satisfactorios en la simulación de producción de materia seca en estas praderas en sus condiciones locales. Estos resultados corresponden a praderas bien manejadas, donde la cobertura del suelo está alrededor de 100%, por lo que la erosión es mínima y no afecta los rendimientos simulados a lo largo del tiempo.

Conclusiones

En las condiciones particulares de esta cuenca, el modelo EPIC es más efectivo en la simulación del uso de la radiación solar por la gramínea nativa comparado con las especies forrajeras introducidas (pasto rhodes y alfalfa).

Cuando se utiliza el EPIC para

simular erosión hídrica en estas praderas, el modelo tiende a subestimar los resultados. En praderas bien manejadas donde los problemas de erosión son mínimos, este modelo efectúa satisfactoriamente la simulación de rendimientos en materia seca de las especies forrajeras.

Literatura citada

1. Andrades H, I. Mahammad, F. Jiménez, B. Finejan y D. Kass. 2000. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Agroforestería de las Américas 7 (26).
2. Arroyave J.F, J.A. Tapasco, B. Rivera y F. Obando. 2000. Viabilidad del uso del modelo EPIC para estimar pérdidas de suelo en zonas de laderas. Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. 8 p.

3. Betancourt, Y. P., J. L. Oropeza, B. Figueroa, V. Ordaz, C. Ortiz y A. Hernández. 2000. Pérdidas de suelo y potencial hidrológico en parcelas con coberturas vegetativas de especies forrajeras. *TERRA*. 8 (3): 263-275.
4. Cuanalo, H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. 3ra edición. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 40 p.
5. Cruz, P. 1995. Use of RUE concept for analysing growth of pure and mixed tropical forage crops. In: *Ecophysiology of Tropical Intercroping*. INRA Edition. Paris. p 319-330.
6. Figueroa, S. B., A. Orozco, T. H. Cortez y L. J. Pimentel. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. CP-SARH. México. 150 p.
7. Kiniry, J.R., C.A. Jones, J.C. O'Toole, R. Blanchet, M. Cabelguenne y D.A. Spanel. 1989. Radiation-Use Efficiency in acumulation prior to grain-filling for five grain-crop species. *Field Crops Research*. 20: 51-64.
8. López, M.R. 1996. Estimación de índices de erosividad a partir de la lámina diaria de lluvia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 98 p.
9. Mitchell G., R. Griggs, V. Benson y J. Williams. 1993. The EPIC model environmental policy integrated climate formally Erosion Productivity Impact Calculator. The Texas Agriculture Experimental Station. USDA. 234 p.
10. Muñoz, A. R. 1997. Empleo del modelo EPIC para determinar el efecto de la labranza de conservación sobre el cultivo de trigo. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. 112 p.
11. Santamaría C. J., H. G. Núñez, G. G. Medina, C.J. Ruiz, L. M. Tiscareño y G. M. Quiroga. 2000. Evaluación del modelo EPIC para estimar el potencial productivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en diferentes ambientes ecológicos de México. *Tec. Pec. Mex.* 38 (2): 151-161.
12. Soil Survey Staff. 1998. Key to soil taxonomy. 8th edition. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. 306 p.
13. Sinclair, R.T y R.C. Muchow. 1999. Radiation Use Efficiency. *Advances in Agronomic* 65. Academic Press. Pp 215-265.
14. Silva, E. O. 1995. Descripción general de algunos modelos de simulación de erosión. *Venezuelas* 3 (1): 30-37.
15. Van Reecwijk, L. P. 1995. Procedures for soil analysis. Tech. Pap. N° 9. 5th ed. ISRIC. Wageningen, Netherlands. 51 p.
16. Uresti, G. J. 2000. Modelos para simular la producción potencial del maíz y del frijol, y la tasa de erosión del suelo en la zona tropical de México. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 251 p.
17. Uresti, G. J., B. Figueroa, V. González, C. Ortiz, A. Turrent. 2001. Modelos para simular el crecimiento y producción potencial del maíz y la tasa diaria de erosión en zonas tropicales. 14th Reunión Científica, Tecnológica-Forestal y Agropecuaria, Veracruz, México.