

VALIDACIÓN DEL MODELO SWRRB EN LA CUENCA DEL RÍO GUASARE, ZULIA-VENEZUELA

Seida Finol y Alex Barrios

Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, Mérida-Venezuela. E-mail:abarrios@forest.ula.ve

RESUMEN

Se aplica el modelo hidrológico SWRRB en la cuenca del río Guasare, de 1626 km² de superficie, localizada en el Estado Zulia, Venezuela, con el propósito de validar sus resultados en una cuenca extensa y con limitaciones de información básica para estimar de manera precisa los datos de entrada al modelo. Se comparan seis (6) años de datos mensuales y anuales de escorrentía y producción de sedimentos con los reproducidos por el modelo. Adicionalmente, se simulan series de lluvia diaria, de 25 años cada una, comparándose sus estadísticos con los provenientes de la serie histórica registrada en una estación climática. Se obtiene como resultado que el modelo SWRRB reproduce de manera apropiada los valores medidos de escorrentía y sedimento, y las series sintéticas de lluvia diaria preservan los estadísticos históricos de partida. Concluyéndose que el modelo SWRRB puede ser aplicado en estudios de planificación y toma de decisiones, aun en condiciones de información básica limitada.

Palabras clave: simulación hidrológica, producción de sedimentos, polución de la escorrentía, manejo de cuencas

ABSTRACT

SWRRB's hydrologic model was applied on Guasare river basin, located in Zulia State, Venezuela, with an area of 1626 km², in order to validate its outputs in a long watershed with limited basic information for the model's input data calculation. Six (6) years of annual and monthly data of runoff and sediment yield were compared with those reproduced by the model. Furthermore, daily rain series of 25 years each were simulated, comparing their statistic parameters with such deduced of data in a climatic gage. As a result, the SWRRB model suitable reproduces the gaged runoff and sediment yield values, and that these simulated daily rain series preserve the initial historic statistic. It is concluded that the SWRRB model can be applied in planning studies, even under limited basic information conditions.

Key words: hydrologic simulation, sediment yield, runoff pollution, watershed management

INTRODUCCIÓN

Los modelos de simulación hidrológica son una valiosa herramienta de apoyo para el proceso de planificación de recursos naturales en el ámbito de cuencas hidrográficas. Sin embargo, la mayoría de tales modelos, como es el caso del modelo SWRRB, son exigentes en cantidad de información y no hay garantía de que funcionen bien en condiciones diferentes a las utilizadas durante su desarrollo. De allí que, siempre que sea posible, se llevan a cabo estudios tendientes a la validación de estos modelos, mediante la comparación de sus resultados con datos reales, medidos en estaciones registradoras ubicadas en un cauce.

Con tal fin, se aplica el modelo SWRRB en la cuenca del río Guasare, Estado Zulia, Venezuela, donde se cuenta con datos medidos de escorrentía y sedimentos en una estación localizada en su parte baja. Se trata de una cuenca ligeramente grande, de

1625 km², típica de las condiciones latinoamericanas en lo que a información sobre sus recursos naturales se refiere. En términos prácticos la mitad superior de la cuenca permanece inalterada, desconociéndose la cantidad y régimen de sus lluvias, por falta de apropiadas estaciones registradoras, y con insuficiente información sobre suelos, vegetación y otras variables climáticas.

Este cuadro restrictivo de la información básica, común en la Región, brinda la oportunidad de evaluar el comportamiento del modelo SWRRB ante situaciones de escasa información, donde se mantiene gran incertidumbre en la precisión de las variables de entrada al modelo. Los resultados del estudio serán concluyentes sobre la aplicabilidad del modelo en estas condiciones y, por tanto, permitirán conocer la utilidad de este tipo de herramienta en la formulación

de proyectos de manejo de cuencas hidrográficas y de recursos hídricos en general.

En el presente estudio se comparan los resultados del modelo con 6 años de datos medidos sobre producción anual y mensual de escorrentía y sedimentos, introduciendo como dato de entrada la serie histórica de lluvias diarias para el mismo período de mediciones. Adicionalmente, se utiliza la opción de simulación climática del modelo para generar series sintéticas de lluvia diaria, y comprobar la validez de las mismas mediante la comparación de los parámetros estadísticos de las series simuladas con aquellos provenientes de los datos medidos en una estación climática.

MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo SWRRB

El modelo SWRRB -Simulator of Water Resources in Rural Basin- fue desarrollado para simular los procesos hidrológicos en cuencas rurales, bajo un amplio rango de suelos, clima, uso de la tierra y topografía. Proviene de una modificación al modelo hidrológico CREAMS, (Knisel, 1980, citado por Arnold et al., 1990), con la finalidad de aplicarlo en cuencas rurales grandes y complejas, a objeto de predecir el efecto de las decisiones de manejo sobre la producción de sedimentos y agua con suficiente exactitud en cuencas no aforadas de USA. Sus componentes principales son: hidrología, clima y producción de sedimentos. Entre los procesos incluidos en el modelo se destacan: escurrimiento superficial, flujo de retorno, percolación, evapotranspiración, pérdida por transmisión, almacenamiento en lagunas y reservorios, sedimentación y crecimiento de cultivos. El modelo requiere de registros diarios de lluvia, temperatura máxima y mínima y radiación solar; si estos datos no son suministrados al programa un generador de clima los simula; también requiere de parámetros hidrológicos, de suelos y de vegetación.

El escurrimiento superficial se predice utilizando el método del número de curva del Servicio de Conservación de Suelos de USA (USDA, 1972), el flujo de retorno es calculado en función del contenido de agua en el suelo y del tiempo de recorrido del mismo, la evapotranspiración es estimada usando el modelo de Ritchie (1972), citado por Arnold *et al.* (1990). No

está limitado por área de drenaje, la cuenca puede ser dividida en un máximo de diez (10) subcuencas, basándose en suelo, topografía, uso de la tierra, vegetación, precipitación y temperatura. La producción de sedimentos se calcula para cada subcuenca con la ecuación universal de pérdida de suelo modificada, MUSLE, (Williams y Berndt, 1977); el tránsito de sedimentos en el canal y en la llanura de inundación tiene dos componentes: deposición y degradación, y es transitado también en lagunas y reservorios. El modelo de crecimiento de cultivos calcula la biomasa diaria en función de la radiación solar y del índice del área foliar. La dirección vertical del modelo le permite trabajar con muchas variables de las propiedades del suelo, así el perfil del suelo puede ser subdividido en un máximo de diez (10) estratos, (Arnold *et al.* 1990).

Características de la cuenca seleccionada

La cuenca del río Guasare, localizada en el Occidente de Venezuela, en la región noroccidental del Estado Zulia, presenta características muy particulares como: elevadas pendientes en la parte alta de la cuenca, donde existe el mayor potencial de erosión de los suelos, bajas condiciones de estabilidad y habitabilidad, bajo potencial agrícola y respuesta rápida a los eventos de precipitación. La cuenca estudiada tiene una superficie de 1626 km², es de forma alargada, y su cobertura vegetal está constituida fundamentalmente por bosques, matorrales y pastizales, aunque también, en menor cuantía, por cultivos agrícolas. Según PROCARI (1994), la precipitación media anual varía entre 1100 y 3000 mm a lo largo de la cuenca, y la temperatura entre 29,5 °C y 8,5 °C, con un caudal medio registrado a la salida de 50,80 m³/s. La producción promedio de sedimentos, estimada por CGR (1994) para el período 1966-1990, es de 481.900 toneladas anuales.

Datos de entrada al modelo

Para la validación del modelo SWRRB se utilizan los registros mensuales de caudal y sedimento en suspensión del río Guasare, medidos en la estación hidrométrica El Carbón, durante un período de 6 años (1978-1983), y los registros diarios de precipitación, para el mismo período, medidos en las estaciones El Carbón y La Yolanda. La estación el Carbón se encuentra a la salida de la cuenca, y La Yolanda en su parte media.

A efectos de aplicar el modelo, se divide la cuenca en ocho subáreas, en función de los tipos de suelos y de cobertura vegetal: bosque, bosque intervenido, bosque muy intervenido, pastizales y cultivos. Algunos datos climáticos, topográficos e hidrológicos, de entrada al modelo SWRRB, se muestran en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Principales variables de entrada al modelo

Descripción	Subáreas								
	Cuenca	Sa1	Sa2	Sa3	Sa4	Sa5	Sa6	Sa7	Sa8
Precipitación máxima de 0,5h de duración y 10 años de frecuencia (mm).	54,14								
Precipitación máxima de 6,0h de duración y 10 años de frecuencia (mm).	204,88								
Número de Curva, CN		86	73	82	82	65	77	73	70
Longitud del cauce principal (km).	130,77	20,85	7,51	19,41	33,06	10,75	11,52	21,08	109,92
Ancho promedio del cauce (m).		70	65	15	62	45	35	30	50
Pendiente promedio del cauce (m/m).	0,021	0,0029	0,0067	0,0304	0,0035	0,0079	0,0078	0,0256	0,0227
'n' de Manning en el cauce.	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03
'n' de Manning en la vertiente.	0,64	0,20	0,60	0,20	0,20	0,60	0,40	0,60	0,80
Pendiente media del área.	0,2221	0,1129	0,2075	0,1470	0,1801	0,3372	0,2711	0,3122	0,2352
Longitud promedio del terreno en vertiente, l (m). (asumida)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Factor K-USLE.		0,285	0,285	0,116	0,224	0,116	0,236	0,196	0,196
Factor C-USLE.		0,10	0,01	0,10	0,10	0,10	0,10	0,01	0,003
Textura del suelo		AL FAL AL	AL FAL AL	FAL AL A	FA A AL	FAL AL A	A	FL AL A	FL A AL

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestran las series simuladas e históricas de la escorrentía y producción de sedimentos, para las dos escalas temporales usadas: anual y mensual, donde se puede observar que existe una aceptable correlación en todos los casos. En efecto, estos resultados, presentados en forma numérica en el Cuadro 2, muestran que para el caso anual la diferencia promedio entre valores medidos y simulados es de 3,53 m³/s y 0,15 t/ha para escorrentía y sedimento respectivamente.

Mensualmente, las diferencias entre los valores medidos y simulados alcanzan valores promedios de 3,5 m³/s y -0,01 t/ha para escorrentía y sedimento, respectivamente; con diferencias máximas de 60 m³/s en

escorrentía y 0,42 t/ha en sedimento. Valores aceptables si se toma en cuenta que se desconoce la distribución y cantidad real de las lluvias en la mitad superior de la cuenca.

Un análisis de regresión lineal entre las series simuladas y observadas produce los resultados que se muestran en la Figura 2, donde se observan buenos ajustes para producción de sedimentos: la pendiente de regresión es 1,19 y 0,96, para los casos anual y mensual, respectivamente. En general, tanto en agua como sedimento, se producen muy buenos ajustes para el caso anual, ya que es pequeña la dispersión de puntos a lo largo de la línea con pendiente 1:1 y el coeficiente de determinación es elevado: 0,86 y 0,94 para escorrentía y sedimento, respectivamente. A nivel

mensual, hay un menor ajuste, pero todavía aceptable si se toma en cuenta la elevada incertidumbre en la distribución temporal y espacial de la lluvia introducida al modelo. Un análisis de regresión lineal para cada mes del año, revela que la mayoría de los meses presentan un buen ajuste, con significativos coeficientes de determinación, R^2 , según se muestra en el Cuadro 3.

En cuanto a la simulación de la lluvia diaria, en el Cuadro 4 se presentan los estadísticos de las series sintéticas generadas por el modelo, de 25 años

de longitud cada una, así como los de la serie histórica de igual longitud. Se observa que las cinco trazas generadas mantienen un estrecho ajuste, en todos los meses del año, de los tres parámetros de la lluvia diaria: media, desviación estándar y coeficiente de asimetría. Adicionalmente, se comparan los totales mensuales y anuales de lluvia, observándose una diferencia promedio, entre valores medidos y simulados, de apenas 14% y 4% para los casos mensual y anual, respectivamente; siendo 43% la máxima diferencia encontrada en un mes del año.

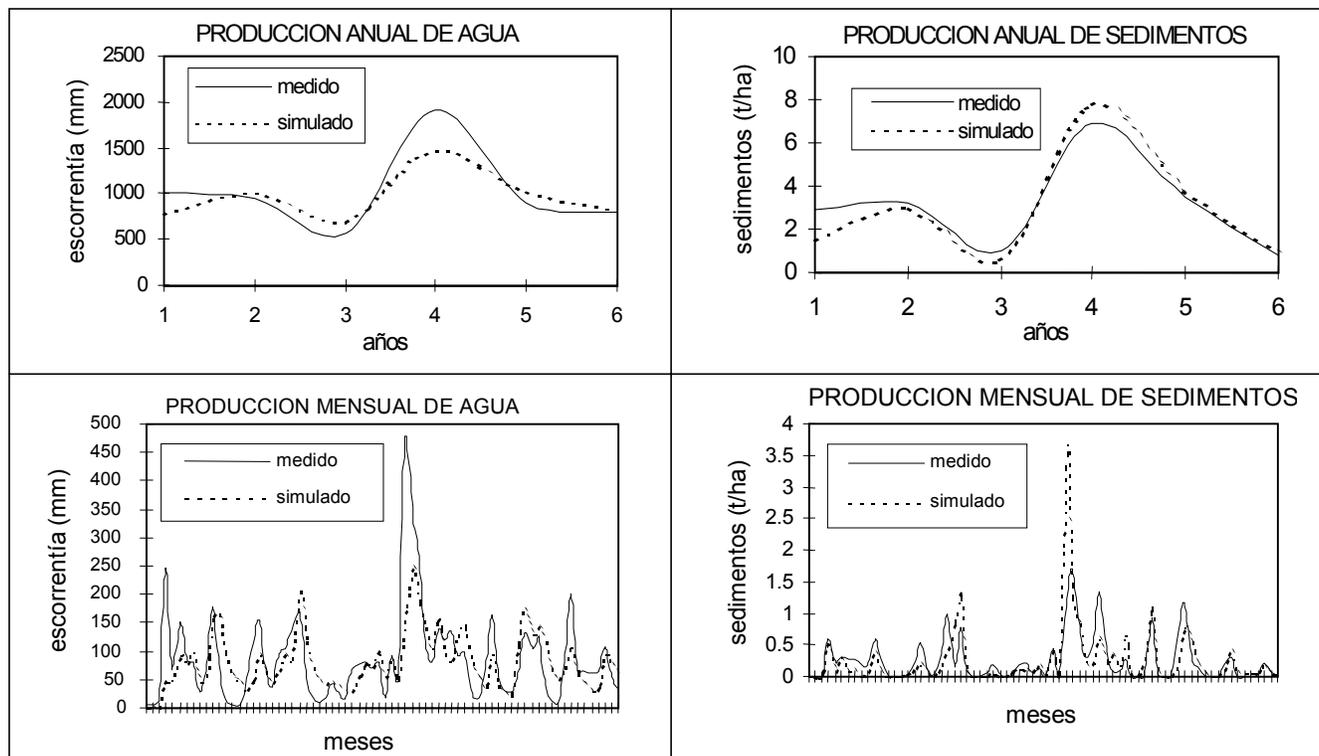


FIGURA 1. Producción anual y mensual de agua y sedimentos

CUADRO 2. Producción anual de agua y sedimentos

Año	Escorrentía (m ³ /s)			Sedimento (t/ha)		
	Simulado	Observado	dif	Simulado	Observado	dif
1978	40,45	51,84	11,39	3,10	1,53	-1,57
1979	47,09	48,78	1,69	3,35	3,05	-0,30
1980	36,09	28,85	-7,24	1,01	0,60	-0,41
1981	75,41	98,10	22,16	6,78	7,80	1,02
1982	53,24	46,43	-6,81	3,52	3,78	0,26
1983	41,76	41,23	-0,53	0,81	0,89	0,08
<i>Promedio</i>	<i>49,01</i>	<i>52,54</i>	<i>3,53</i>	<i>3,10</i>	<i>2,94</i>	<i>0,15</i>
<i>Desv. estándar</i>	<i>14,2</i>	<i>23,7</i>	<i>11,59</i>	<i>2,16</i>	<i>2,68</i>	<i>0,86</i>

CUADRO 3. Producción mensual de agua y sedimentos

Meses (m ³ /s)	ESCORRENTÍA				SEDIMENTOS			
	Simulado (m ³ /s)	Observado	dif.	R ²	Simulado (t/ha)	Observado (t/ha)	dif.	R ²
Enero	53	24	-29	0,65	0,06	0,13	0,07	0,96
Febrero	39	17	-22	0,33	0,07	0,07	0,0	1,00
Marzo	24	11	-13	0,02	0,01	0,02	0,01	0,15
Abril	38	98	60	0,71	0,33	0,75	0,42	0,92
Mayo	59	94	35	0,92	0,59	0,49	-0,10	0,85
Junio	52	74	22	0,95	0,28	0,23	-0,05	0,72
Julio	38	37	-1	0,81	0,14	0,06	-0,08	0,38
Agosto	33	36	3	0,52	0,15	0,10	-0,05	0,87
Septiembre	49	48	-1	0,41	0,48	0,20	-0,28	0,92
Octubre	59	62	3	0,69	0,54	0,28	-0,26	0,89
Noviembre	63	71	8	0,45	0,20	0,36	0,16	0,08
Diciembre	81	58	-23	0,71	0,26	0,30	0,04	0,92
Promedio	49,0	52,5	3,5	—	0,26	0,25	-0,01	—

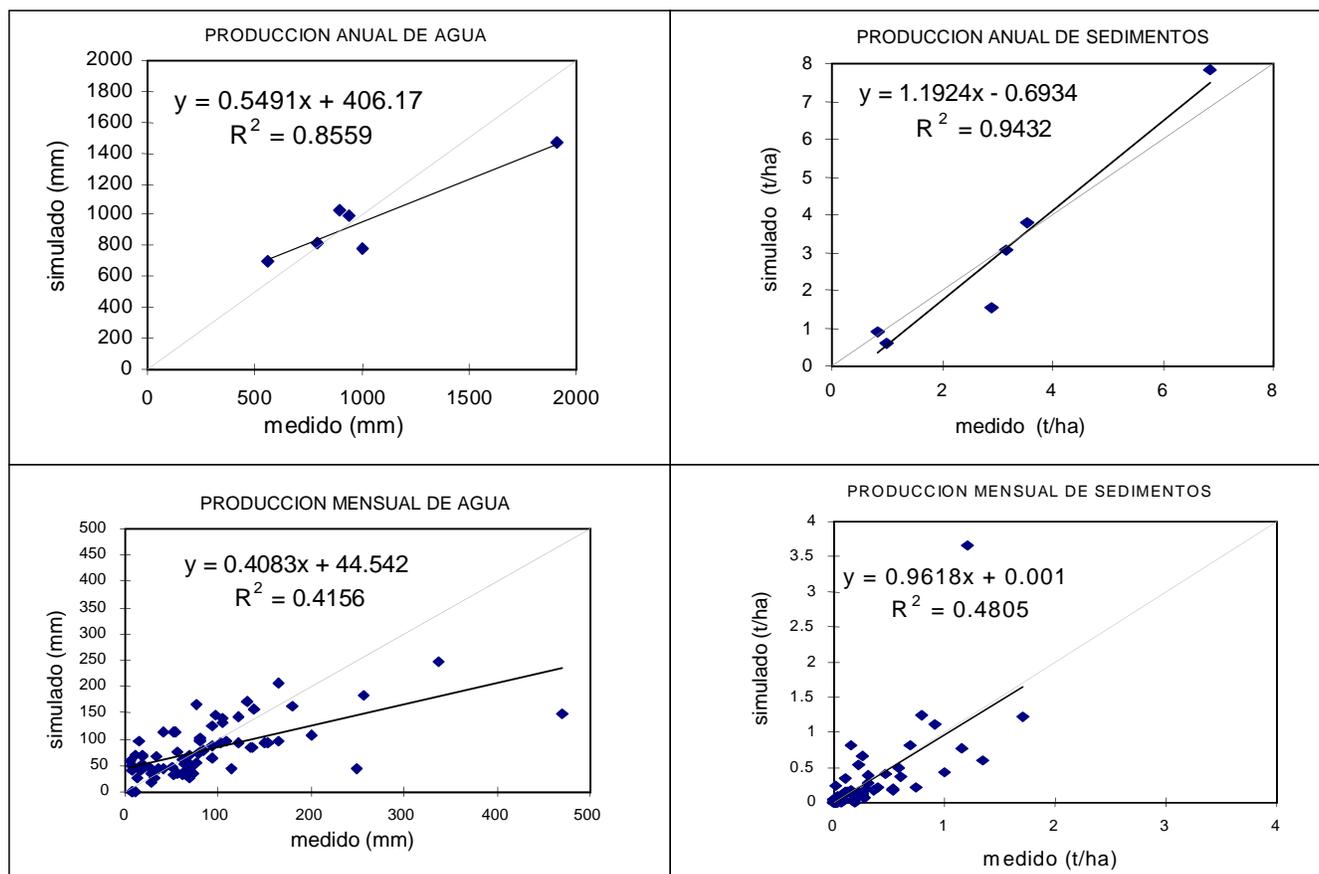


FIGURA 2. Análisis de regresión entre valores medidos y simulados de la producción anual y mensual de agua y sedimentos

CUADRO 4. Estadísticos de la lluvia diaria simulada y observada: series de 25 años de longitud

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	
Precipitación diaria (mm)													
PROMEDIO ARITMÉTICO													
Observ.	4,5	4,4	3,6	10,8	11,1	10,5	8,3	10,8	14,4	15,6	19,1	12,3	
Traza 1	4,0	3,4	3,4	11,0	9,5	8,7	7,5	11,7	11,9	15,8	19,2	12,4	
Traza 2	4,0	3,4	3,5	10,8	9,7	8,5	6,7	11,6	14,3	15,9	19,1	12,2	
Traza 3	4,0	3,5	3,3	11,3	9,5	8,6	6,6	11,5	14,3	15,9	19,0	12,4	
Traza 4	4,0	3,1	3,6	10,9	9,9	8,3	6,7	11,9	13,8	15,8	19,6	12,0	
Traza 5	4,2	3,1	3,2	11,8	10,2	7,8	6,5	11,8	13,9	14,9	20,3	12,4	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR													
Observ.	8,9	11,2	7,9	16,3	19,4	19,0	15,4	17,5	25,3	26,3	26,4	19,5	
Traza 1	8,6	9,0	8,8	16,3	16,2	14,2	15,2	21,6	20,2	28,8	24,8	19,6	
Traza 2	7,9	9,3	7,3	17,4	16,7	13,9	12,2	19,1	33,3	28,7	25,0	18,6	
Traza 3	7,9	9,5	7,3	17,7	16,2	14,3	11,9	19,4	33,3	28,7	24,6	18,9	
Traza 4	7,9	9,0	7,9	17,7	16,7	13,8	12,0	19,4	33,0	28,9	25,5	18,0	
Traza 5	8,5	9,1	6,5	18,2	18,1	13,3	11,0	18,6	34,5	26,1	26,9	18,4	
COEFICIENTE DE ASIMETRÍA													
Observ.	4,8	6,5	4,8	2,8	4,6	5,4	5,4	3,6	5,8	3,9	2,6	3,5	
Traza 1	4,8	5,3	7,3	2,7	3,8	3,9	5,2	5,1	4,2	4,7	2,2	3,3	
Traza 2	5,0	6,1	4,0	3,8	3,9	4,0	4,3	3,9	7,6	4,7	2,2	3,0	
Traza 3	5,0	5,9	4,2	3,6	3,9	4,0	4,3	3,9	7,6	4,6	2,2	2,9	
Traza 4	4,9	6,7	3,8	3,6	3,9	4,0	4,3	3,8	7,9	4,6	2,2	3,0	
Traza 5	4,8	6,6	3,4	3,4	4,0	4,4	4,2	3,3	7,8	4,9	2,4	2,8	
Precipitación mensual promedio(mm)												Total Anual	
Observ.	79,7	48,3	45,0	156,2	231,0	217,2	178,0	250,1	324,7	379,2	492,8	248,4	2650,6
Traza 1	57,3	44,6	37,3	204,8	208,9	193,2	155,6	275,8	252,6	388,1	462,3	253,0	2533,5
Traza 2	57,0	44,9	37,3	200,6	214,6	187,4	139,9	272,8	300,5	388,4	461,1	245,3	2549,9
Traza 3	57,2	46,0	34,8	211,2	212,0	190,7	137,1	269,5	299,7	389,8	457,6	248,8	2554,4
Traza 4	57,4	41,2	38,5	205,9	218,7	182,8	139,4	277,9	290,2	388,6	469,3	242,7	2552,6
Traza 5	59,2	42,5	32,9	223,8	225,9	170,2	136,7	277,5	291,4	364,8	488,1	247,1	2560,0

CONCLUSIONES

El modelo de simulación hidrológica SWRRB reproduce de manera aceptable los valores de escorrentía y sedimentos del río Guasare, medidos en la estación El Carbón, y puede utilizarse, por tanto, a nivel de planificación de cuencas hidrográficas y recursos hídricos, aun en condiciones similares a las del estudio, donde existen limitaciones en cuanto a cantidad y precisión de las variables de entrada al modelo.

El módulo de simulación climática del modelo genera eficientemente series extensas de lluvia diaria, preservándose los parámetros estadísticos de entrada que se derivaron de datos en una estación registradora; lo que incrementa su potencial como herramienta de planificación, especialmente para la evaluación de alternativas en proyectos de conservación de recursos naturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNOLD, J. G., J.R. WILLIAMS, R.H. GRIGGS y N.B. SAMMONS. 1990. SWRRB - A basins scale simulation model for soil and water resources management. Texas A&M. Universidad Press, College Station.
- CGR INGENIERÍA. 1994. Estimación de la serie de escurrimientos medios mensuales en las cuencas de los ríos Guasare, Socuy, Cachirí y Colorado y Limón en el Estado Zulia, y análisis y procesamiento de la información de acarreo de sedimentos en suspensión en los ríos Guasare y Limón. Caracas, Venezuela.
- PROCARI. 1994. Plan Nacional para la Cuenca del Guasare, Fundamentos, Diagnósticos y Propuesta del Plan de Acción. Mérida, Venezuela.
- USDA-SCS. 1972. National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. Washington D.C. USA.
- WILLIAMS, J.R. y H.D. BERNDT. 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Transactions of the ASAE 20 (6): 1100-1104.